



SKRIPSI – ME141501

**PERANCANGAN FILTER HARMONISA PASIF PADA SISTEM
KELISTRIKAN KAPAL AHTS BNI CASTOR AKIBAT
PENGUNAAN *THRUSTER* ELEKTRIK UNTUK SISTEM *DYNAMIC
POSITIONING***

Yose Gregory Tarigan
NRP 04211440000041

Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



SKRIPSI - ME 141501

**PERANCANGAN FILTER HARMONISA PASIF PADA SISTEM
KELISTRIKAN KAPAL AHTS BNI CASTOR AKIBAT PENGGUNAAN
THRUSTER ELEKTRIK UNTUK SISTEM *DYNAMIC POSITIONING***

Yose Gregory Tarigan
NRP 0421144000041

Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



SKRIPSI - ME 141501

DESIGNING OF PASSIVE HARMONIC FILTER ON AHTS BNI CASTOR ELECTRICAL SYSTEM AFFECTED BY THE USE OF ELECTRICAL THRUSTER FOR DYNAMIC POSITIONING SYSTEM

Yose Gregory Tarigan
NRP 0421144000041

Supervisors
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN FILTER HARMONISA PASIF PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL AHTS BNI CASTOR AKIBAT PENGGUNAAN THRUSTER ELEKTRIK UNTUK SISTEM *DYNAMIC POSITIONING*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Marine Electrical and Automation System (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Yose Gregory Tarigan
NRP 0421 14 40 000041

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.
NIP. 196003191987011001
2. Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc.
NIP. 197903272003121001

()
()

SURABAYA
Juli, 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN FILTER HARMONISA PASIF PADA SISTEM KELISTRIKAN KAPAL AHTS BNI CASTOR AKIBAT PENGGUNAAN THRUSTER ELEKTRIK UNTUK SISTEM *DYNAMIC POSITIONING*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Yose Gregory Tarigan
NRP. 0421144000041

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman., ST., MT
NIP. 197708022008011007

Surabaya,
Agustus 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Perancangan Filter Harmonisa Pasif pada Sistem Kelistrikan Kapal AHTS BNI Castor Akibat Penggunaan *Thruster* Elektrik Untuk Sistem *Dynamic Positioning*

Nama Mahasiswa : Yose Gregory Tarigan

NRP : 04211440000041

Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS

Dosen Pembimbing 1 : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc

Dosen Pembimbing 2 : Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc

Abstrak

Kapal dengan sistem *dynamic positioning* memiliki kemampuan untuk dapat mempertahankan posisinya secara dinamis. Untuk dapat menjaga posisi tersebut umumnya kapal dengan sistem *dynamic positioning* ini memiliki beberapa *thruster* yang terletak di bagian haluan maupun buritan kapal. Berdasarkan tenaga penggerakannya, terdapat 2 jenis *Thruster* yang terdapat pada kapal tipe ini yakni penggerak mekanis dan elektris. Pada penggerak elektris, *thruster* digerakkan oleh motor listrik yang disuplai oleh generator. Kapal dengan sistem *dynamic positioning* ini harus memiliki tingkat kehandalan yang tinggi untuk mencegah terjadinya kegagalan sistem yang dapat mengakibatkan kegagalan operasi lepas pantai, maka dari itu umumnya *thruster* elektris pada kapal ini disuplai oleh generator terpisah dari generator utama pada kapal atau sering disebut dengan *close bus*. Namun pengoperasian *thruster* dengan konfigurasi generator terpisah menyebabkan biaya investasi dan pengoperasian dari generator menjadi mahal serta emisi yang di hasilkan pun relatif meningkat ketika dioperasikan secara kontinyu. Selain itu pada sistem *dynamic positioning* ini juga terdapat VFD atau *Variable Frequency Drive* untuk mengatur kecepatan dari *motor thruster* elektrik. Penggunaan komponen VFD pada sistem dapat menimbulkan adanya gangguan harmonisa. Harmonisa dapat dikatakan sebagai cacat pada gelombang akibat adanya interferensi gelombang lain yang memiliki frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi *fundamental-nya* akibat pengoperasian *motor thruster* yang *non-linear*. Beban *non-linear* pada motor listrik *thruster* ini mengakibatkan terjadinya distorsi gelombang sinusoidal yang dapat berpengaruh terhadap komponen-komponen lainnya. Beberapa komponen yang sangat terpengaruh dari dampak distorsi harmonisa ini ialah peralatan komunikasi serta komponen yang digunakan untuk pengukuran dan lainnya. Pada penulisan ini dilakukan analisa terhadap gangguan harmonisa yang timbul akibat pengoperasian 2 unit *bow thruster* pada kapal AHTS BNI Castor dengan melakukan simulasi pada 6 skenario konfigurasi generator. Dari hasil simulasi ini diperoleh hasil bahwa pada pengoperasian kedua *thruster* dengan daya 50% hingga 100% menghasilkan nilai distorsi harmonisa yang melebihi batas IEEE dan ABS. Setelah memperoleh besarnya nilai gangguan harmonisa pada sistem, pada penulisan juga dilakukan perbaikan dengan perhitungan dan pemasangan filter harmonisa pasif pada *software* simulasi. Hasil akhir dari penulisan ini adalah spesifikasi filter harmonisa yang dibutuhkan untuk meredam harmonisa tersebut serta memperoleh nilai distorsi harmonisa sebelum dan setelah pemasangan filter pada sistem dengan 6 konfigurasi generator.

Kata kunci : *dynamic positinoing system*, Nilai Distorsi Harmonisa, Filter Harmonisa Pasif, *Variable Frequency Drive*, Konfigurasi Generator

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Designing Passive Harmonic Filter on AHTS BNI Castor Electrical System Affected By The Use Of Electrical Thruster For Dynamic Positioning System.

Name of Student : Yose Gregory Tarigan
NRP : 0421144000041
Department : Marine Engineering
Supervisor 1 : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc
Supervisor 2 : Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc

Abstract

Ship with dynamic positioning system have the ability to maintain her position dynamically. To be able to maintain the position, generally ship with dynamic positioning system have several thruster located at bow or stern of the ship. Based on the propulsion system, there are 2 types of thruster which is mechanical thruster and electrical thruster. In electrical type, thruster is driven by an electric motor supplied from the generator. Ship with dynamic positioning system must have high realibility to prevent system failure that could result in offshore operation failures, so generally electrical thruster on this type of vessel is supplied by a separate generator to prevent failure. However, the operation of thruster with separate generator configuration causes the investment and operational cost of the generator to be expensive and the emissions generated are relatively increased when operated continuously. In addition, on dynamic positioning vessel equipped with electrical thruster, there are also VFD or Variable Frequency Drive to control the speed of motor thruster. The use of VFD components in the system may cause harmonic interference. Harmonic itself can be regarded as distortion in the sinusoidal waves due to the interference of other waves that have integer frequency multiples of their fundamental frequency due to the operation of non-linear thruster motor. Non Linear load on the thruster electrical motor results in distortion of sinusoidal waves which may affect other electronics component. Some of the most affected components of this distortion are the communications equipment and the components used for measurement. This research conducted an analysis of harmonic disturbance arising from the operation of 2 units bow thruster on AHTS BNI Castor Ship by simulatinig the 6 scenario of generator configuration. From the results of this simulation, it is found that on the operation of both thrusters at 50% to 100% of their power, distortion harmonic value produced are exceeding IEEE and ABS limits. After obtaining the value of harmonic distortion on the system, on this research also performed improvement by calculating and installing passive harmonic filter on the simulation software. The final result of this research is the harmonic filter specification required to reduce the harmonics distortion value and obtain the harmonic distortion values before and after installation of filters on a system with 6 generator configurations.

Keywors : Dynamic Positinoing System, Harmonic Distortion Value, Passive Harmonic Filter, Variable Frequency Drive, Generator Configuration

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat, rahmat dan mukzizatnya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Perancangan Filter Harmonisa Pasif pada Sistem Kelistrikan Kapal AHTS BNI Castor Akibat Penggunaan Thruster Elektrik untuk Sistem *Dynamic Positioning*”** dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir ini diajukan sebagai syarat kelulusan program studi sarjana di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terimakasih yang mendalam kepada pihak-pihak dibawah ini:

1. Bapak Ir. Sardono Sarwito, M.Sc selaku dosen pembimbing pertama yang senantiasa memberikan bimbingan baik pada saat proses penelitian maupun saat pembelajaran selama perkuliahan, serta memberikan motivasi dan pandangan dunia kerja kedepan bagi penulis.
2. Bapak Indra Ranu Kusuma, S.T, M.Sc selaku dosen pembimbing kedua yang turut memberikan bimbingan pada saat proses penelitian dan juga pada saat pembelajaran selama perkuliahan serta motivasi bagi penulis.
3. Bapak Gigih selaku karyawan PT.Bahtera Niaga Indonesia yang senantiasa membantu saat pencarian data dengan meluangkan waktu dan tenaga-nya untuk mencari dan menghubungkan penulis dengan berbagai pihak lainnya.
4. Bapak Dr. Eng. Badrus Zaman, ST., MT selaku kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu baik pada saat perkuliahan maupun diluar perkuliahan yang menjadi pembelajaran bagi penulis.
5. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, ST., M.Sc., Ph.D selaku dosen wali yang senantiasa membimbing, menempa dan mengajarkan penulis akan berbagai macam pelajaran baik di perkuliahan maupun di dunia kerja nantinya yang berkaitan dengan pengembangan diri, sikap, profesionalisme, serta budaya kerja yang baik untuk diterapkan dalam kehidupan sehari-hari.
6. Seluruh dosen, tenaga kependidikan serta manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
7. Bang Frans dan Adek Chrisanta serta kedua Orang Tua penulis yang senantiasa memberikan dukungan moril dalam segala hal dan memberikan berbagai fasilitas yang memadai selama melakukan perantauan di Surabaya ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi-nya dengan lancar.
8. Anggota DP-Team Rifqi dan Daniel yang mulai dari proses pencarian topik tugas akhir, pembuatan proposal, penentuan masalah hingga terselesaikannya tugas akhir ini selalu saling mendukung dan menemani disaat-saat tersulit dan selalu memberikan pencerahan disaat pengerjaan tugas akhir ini mengalami kendala.
9. Seluruh Member Laboratorium MEAS yang senantiasa membantu, menemani dan berjuang bersama selama masa perkuliahan dan dalam setiap proses pengerjaan tugas akhir ini.
10. Seluruh teman-teman angkatan MERCUSUAR 2014 yang berjuang bersama baik dalam kegiatan maupun diluar perkuliahan sejak pertama kali menginjakkan kaki di Surabaya ini hingga terselesaikannya tugas akhir penulis.

11. Teman jalan PERUMDOL yang selalu menghibur, menemani dan saling membantu sejak pertama kali menginjakkan kaki di Surabaya serta selalu mengajak liburan disaat beban perkuliahan yang mulai semakin berat.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu kritik dan saran sangat terbuka untuk membangun dan kebaikan bersama kedepannya. Akhir kata, penulis berharap semoga apa yang tertulis dalam tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya maupun pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem <i>Dynamic Positioning</i>	5
2.2 Klasifikasi Sistem <i>Dynamic Positioning</i>	7
2.3 Komponen Sistem <i>Dynamic Positioning</i>	8
2.4 <i>Thruster</i> pada Sistem <i>Dynamic Positioning</i>	10
2.5 Mode Operasi pada Kapal dengan Sistem <i>Dynamic Positioning</i>	11
2.6 Mode Konfigurasi Sistem Kelistrikan pada Kapal dengan Sistem <i>Dynamic Positioning</i>	13
2.7 <i>Thruster</i> Elektrik	14
2.8 Kualitas Daya pada Sistem Kelistrikan	15
2.9 Gangguan Harmonisa pada Sistem Kelistrikan	16
2.10 Dampak Distorsi Harmonik pada Sistem Kelistrikan	18
2.11 Standard Nilai <i>Total Harmonic Distortion</i> (THD)	20
2.12 Filter Harmonisa Pasif	22
2.13 Simulasi Harmonisa dan Perancangan Filter Harmonisa dengan <i>Software Simulasi</i>	24
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Perumusan Masalah	30
3.2 Studi Literatur	30
3.3 Pengumpulan Data	30
3.4 Simulasi Harmonik dan Analisa Data Tanpa Menggunakan Filter	30
3.6 Validasi I	30
3.7 Perancangan Filter Harmonisa Pasif	31
3.8 Simulasi Harmonik dan Analisa dengan Menggunakan Filter Harmonisa Pasif	31
3.9 Validasi II	31
3.10 Kesimpulan	31
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Umum	33
4.2 Pengumpulan Data	33
4.3 Penggambaran <i>Single Line Diagram</i> pada Software Simulasi	37
4.4 Analisa Data dan Simulasi Harmonisa pada Skenario 1	37
4.5 Analisa Data dan Simulasi Harmonisa pada Skenario 2	42
4.6 Analisa Data dan Simulasi Harmonisa pada Skenario 3	48
4.7 Analisa Data dan Simulasi Harmonisa pada Skenario 4	51

4.8 Analisa Data dan Simulasi Harmonisa pada Skenario 5	58
4.9 Analisa Data dan Simulasi Harmonisa pada Skenario 6	65
4.10 Perbaikan Gangguan Harmonisa dengan Perancangan Filter Harmonisa.....	71
4.11 Analisa Data dan Simulasi Harmonisa Setelah Pemasangan Filter	74
4.12 Perbandingan 6 Skenario Konfigurasi Generator Terhadap Nilai VTHD	89
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	91
5.1 Kesimpulan	91
5.2 Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1 Skenario Konfigurasi Generator	33
Gambar 4. 2 Kapal BNI Castor	34
Gambar 4. 3 Menu harmonic library untuk penentuan spesifikasi VFD	35
Gambar 4. 4 Data Perusahaan Single Line Diagram Kapal BNI Castor	36
Gambar 4. 5 Hasil Penggambaran SLD Kapal BNI Castor pada software	37
Gambar 4. 6 Hasil Penggambaran Skenario 1 pada software simulasi	37
Gambar 4. 7 Nilai VTHD Variasi A Skenario 1	38
Gambar 4. 8 Nilai VIHD Variasi A Skenario 1 Busbar D dan E	38
Gambar 4. 9 Nilai VTHD Variasi B Skenario 1	39
Gambar 4. 10 Nilai VIHD Variasi B Skenario 1 Busbar D dan E	39
Gambar 4. 11 Nilai VTHD Variasi C Skenario 1	40
Gambar 4. 12 Nilai VIHD Variasi C Skenario 1 Busbar D dan E	40
Gambar 4. 13 Nilai VTHD Variasi D Skenario 1	41
Gambar 4. 14 Nilai VIHD Variasi D Skenario 1 Busbar D dan E	41
Gambar 4. 15 Hasil Penggambaran Skenario 2 pada Software Simulasi	42
Gambar 4. 16 Nilai VTHD Variasi A Skenario 2	43
Gambar 4. 17 Nilai VIHD Variasi D Skenario 2 Busbar D dan E	43
Gambar 4. 18 Nilai VTHD Variasi B Skenario 2	44
Gambar 4. 19 Nilai VIHD Variasi B Skenario 2 Busbar D dan E	44
Gambar 4. 20 Nilai VTHD Variasi C Skenario 2	45
Gambar 4. 21 Nilai VIHD Variasi B Skenario 2 Busbar D dan E	45
Gambar 4. 22 Nilai VTHD Variasi D Skenario 2	46
Gambar 4. 23 Nilai VIHD Variasi D Skenario 2 Busbar D dan E	46
Gambar 4. 24 Nilai VTHD Variasi E Skenario 2	47
Gambar 4. 25 Nilai VIHD Variasi E Skenario 2 Busbar D dan E	47
Gambar 4. 26 Hasil Penggambaran Skenario 3 pada Software Simulasi	48
Gambar 4. 27 Nilai VTHD Variasi A Skenario 3	49
Gambar 4. 28 Nilai VIHD Variasi A Skenario 3 Busbar D dan E	49
Gambar 4. 29 Nilai VTHD Variasi B Skenario 3	50
Gambar 4. 30 Nilai VIHD Variasi B Skenario 3 Busbar D dan E	50
Gambar 4. 31 Hasil Penggambaran Skenario 4 pada Software Simulasi	51
Gambar 4. 32 Nilai VTHD Variasi A Skenario 4	52
Gambar 4. 33 Nilai VIHD Variasi A Skenario 4 Busbar D dan E	52
Gambar 4. 34 Nilai VTHD Variasi B Skenario 4	53
Gambar 4. 35 Nilai VIHD Variasi B Skenario 4 Busbar D dan E	53
Gambar 4. 36 Nilai VTHD Variasi C Skenario 4	54
Gambar 4. 37 Nilai VIHD Variasi C Skenario 4 Busbar D dan E	55
Gambar 4. 38 Nilai VTHD Variasi D Skenario 4	55
Gambar 4. 39 Nilai VIHD Variasi D Skenario 4 Busbar D dan E	56
Gambar 4. 40 Nilai VTHD Variasi E Skenario 4	57
Gambar 4. 41 Nilai VIHD Variasi E Skenario 4 Busbar D dan E	57
Gambar 4. 42 Hasil Penggambaran Skenario 5 pada Software Simulasi	58
Gambar 4. 43 Nilai VTHD Variasi A Skenario 5	59
Gambar 4. 44 Nilai VIHD Variasi A Skenario 5 Busbar D dan E	59

Gambar 4. 45	Nilai VTHD Variasi B Skenario 5	60
Gambar 4. 46	Nilai VIHD Variasi B Skenario 5 Busbar D dan E	60
Gambar 4. 47	Nilai VTHD Variasi C Skenario 5	61
Gambar 4. 48	Nilai VIHD Variasi C Skenario 5 Busbar D dan E	62
Gambar 4. 49	Nilai VTHD Variasi D Skenario 5	62
Gambar 4. 50	Nilai VIHD Variasi D Skenario 5 Busbar D dan E	63
Gambar 4. 51	Nilai VTHD Variasi E Skenario 5	64
Gambar 4. 52	Nilai VIHD Variasi E Skenario 5 Busbar D dan E	64
Gambar 4. 53	Hasil Penggambaran Skenario 6 pada Software Simulasi	65
Gambar 4. 54	Nilai VTHD Variasi A Skenario 6	66
Gambar 4. 55	Nilai VIHD Variasi A Skenario 6 Busbar D dan E	66
Gambar 4. 56	Nilai VTHD Variasi B Skenario 6	67
Gambar 4. 57	Nilai VIHD Variasi B Skenario 6 Busbar D dan E	67
Gambar 4. 58	Nilai VTHD Variasi C Skenario 6	68
Gambar 4. 59	Nilai VIHD Variasi C Skenario 6 Busbar D dan E	68
Gambar 4. 60	Nilai VTHD Variasi D Skenario 6	69
Gambar 4. 61	Nilai VIHD Variasi D Skenario 6 Busbar D dan E	69
Gambar 4. 62	Nilai VTHD Variasi A Skenario 6	70
Gambar 4. 63	Nilai VIHD Variasi A Skenario 6 Busbar D dan E	70
Gambar 4. 64	Pemasangan Filter pada Bubsar Sumber Harmonisa	71
Gambar 4. 65	Grafik VIHD Skenario 1 Variasi A Sesudah dipasangkan Filter	73
Gambar 4. 66	Grafik VIHD Skenario 1 Variasi B Sesudah dipasangkan Filter	74
Gambar 4. 67	Grafik VIHD Skenario 1 Variasi C Sesudah dipasangkan Filter	74
Gambar 4. 68	Grafik VIHD Skenario 1 Variasi D Sesudah dipasangkan Filter	75
Gambar 4. 69	Grafik VIHD Skenario 2 Variasi A Sesudah dipasangkan Filter	76
Gambar 4. 70	Grafik VIHD Skenario 2 Variasi B Sesudah dipasangkan Filter	76
Gambar 4. 71	Grafik VIHD Skenario 2 Variasi C Sesudah dipasangkan Filter	77
Gambar 4. 72	Grafik VIHD Skenario 2 Variasi D Sesudah dipasangkan Filter	77
Gambar 4. 73	Grafik VIHD Skenario 2 Variasi E Sesudah dipasangkan Filter	78
Gambar 4. 74	Grafik VIHD Skenario 3 Variasi A Sesudah dipasangkan Filter	78
Gambar 4. 75	Grafik VIHD Skenario 3 Variasi B Sesudah dipasangkan Filter	79
Gambar 4. 76	Grafik VIHD Skenario 4 Variasi A Sesudah dipasangkan Filter	79
Gambar 4. 77	Grafik VIHD Skenario 4 Variasi B Sesudah dipasangkan Filter	80
Gambar 4. 78	Grafik VIHD Skenario 4 Variasi C Sesudah dipasangkan Filter	80
Gambar 4. 79	Grafik VIHD Skenario 4 Variasi D Sesudah dipasangkan Filter	81
Gambar 4. 80	Grafik VIHD Skenario 4 Variasi E Sesudah dipasangkan Filter	81
Gambar 4. 81	Grafik VIHD Skenario 5 Variasi A Sesudah dipasangkan Filter	82
Gambar 4. 82	Grafik VIHD Skenario 5 Variasi B Sesudah dipasangkan Filter	82
Gambar 4. 83	Grafik VIHD Skenario 5 Variasi A Sesudah dipasangkan Filter	83
Gambar 4. 84	Grafik VIHD Skenario 5 Variasi D Sesudah dipasangkan Filter	83
Gambar 4. 85	Grafik VIHD Skenario 5 Variasi E Sesudah dipasangkan Filter	84
Gambar 4. 86	Grafik VIHD Skenario 6 Variasi A Sesudah dipasangkan Filter	84
Gambar 4. 87	Grafik VIHD Skenario 6 Variasi B Sesudah dipasangkan Filter	85
Gambar 4. 88	Grafik VIHD Skenario 6 Variasi C Sesudah dipasangkan Filter	85
Gambar 4. 89	Grafik VIHD Skenario 6 Variasi D Sesudah dipasangkan Filter	86
Gambar 4. 90	Grafik VIHD Skenario 6 Variasi E Sesudah dipasangkan Filter	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi DP Berdasarkan Pekerjaan.....	8
Tabel 2.2 Dampak Distorsi Harmonis Terhadap Peralatan Listrik	19
Tabel 2.3 Batasan Nilai <i>Voltage Distortion</i> Menurut IEEE	21
Tabel 2.4 Batasan Nilai <i>Current Distortion</i> Menurut IEEE.....	21
Tabel 4.1 Dimensi Utama Kapal BNI Castor.....	34
Tabel 4.2 Spesifikasi Motor pada <i>Bow Thruster</i> Kapal BNI Castor	35
Tabel 4.3 Spesifikasi <i>Diesel Generator</i> Kapal BNI Castor	36
Tabel 4.4 Spesifikasi Filter Harmonisa Pasif Orde ke-5	72
Tabel 4.5 Spesifikasi Filter Harmonisa Pasif Orde ke-5	72
Tabel 4.6 Data Nilai VTHD Setelah dan Sebelum Pemasangan Filter.....	75
Tabel 4.7 Perbandingan Nilai VTHD 6 Skenario Konfigurasi Generator Variasi C ..	89

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar minyak merupakan salah satu komoditi utama yang dibutuhkan masyarakat untuk kehidupan sehari-hari. Bahan bakar minyak dihasilkan dari penyulingan minyak bumi yang didapat dari pengeboran sumur-sumur dimana minyak bumi tersebut tersimpan. Minyak bumi sendiri merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dimana pada saat ini ketersediaannya semakin menipis. Untuk memperoleh minyak bumi, dilakukan pengeboran pada sumur-sumur yang telah diprediksi sebelumnya. Pada kondisi saat ini sumur-sumur minyak bumi yang terdapat didarat semakin menipis terlebih bertambahnya pemukiman penduduk yang menyulitkan ditemukannya sumur baru di daratan. Maka dari itu pada beberapa tahun terakhir ini pengeboran minyak bergeser menuju pengeboran lepas pantai atau pengeboran laut dalam. Dikutip dari metrotvnews Kamis, 28 Juli 2016, menteri Energi dan Sumber Daya mineral Arcandra Tahar menyatakan seara tersirat untuk mengembangkan potensi minyak dan gas di Indonesia terutama di lapangan yang berada di lepas pantai (*Offshore*) dan Laut dalam (*deepwater*).

Berdasarkan data litbang Kementerian ESDM, Potensi energi di laut Indonesia sampai saat ini masih didominasi oleh minyak dan gas bumi (migas). Sekitar 70 persen cadangan migas Indonesia terdapat di cekungan-cekungan tersier lepas pantai dan lebih dari separuhnya terletak di laut dalam. Sejak 2004 telah beroperasi lebih dari 36 perusahaan minyak di Wilayah Kerja (WK) lepas pantai dari keseluruhan 153 WK yang telah melaksanakan eksplorasi dan eksploitasi di lepas pantai. Saat ini, telah terindikasi 66 cekungan migas diseluruh Indonesia, sebagian besar berada di darat dan laut dangkal perairan territorial dan hanya beberapa cekungan yang berada pada landas kontinen (cekungan busur muka). Ada 16 cekungan sudah berproduksi, delapan cekungan berpotensi, dan 42 cekungan belum dieksplorasi.

Agar dapat terlaksanannya kegiatan pengeboran lepas pantai ini, dibutuhkan teknologi untuk dapat mempertahankan posisi dari kapal saat melakukan kegiatan pengeboran di tengah laut. Teknologi tersebut dinamakan *Dynamic Positioning*. Kapal yang berada di tengah laut akan mengalami gaya yang berasal dari angin, gelombang serta arus laut yang dapat mengubah posisi-nya. Untuk mengatasi gaya-gaya yang bekerja tersebut, digunakan sistem *Dynamic Positioning* dimana gaya-gaya tersebut di prediksi dengan menggunakan beberapa sensor dan komputer dimana informasi tersebut diteruskan kepada thruster atau pendorong yang terdapat pada depan atau belakang kapal untuk melawan gaya-gaya tersebut. Dengan menggunakan *Dynamic Positioning* ini diharapkan dapat mengurangi resiko tabrakan antara kapal *Offshore Supply Vessel* dengan *Oil Platform* maupun resiko kecelakaan saat melakukan pengeboran.

Menurut IMO Publication 645, Kapal yang menggunakan Dynamic Positioning terbagi menjadi 3 class berdasarkan tingkat keandalannya, yakni sebagai berikut :

- Equipment Class 1, merupakan DP yang tidak memiliki *redudance* dimana kehilangan kemampuan mempertahankan posisi dapat terjadi bila terjadi sebuah kegagalan sistem.
- Equipment Class 2, merupakan DP yang memiliki *redudance* dimana sebuah kegagalan pada *Active System* tidak membuat keseluruhan sistem gagal. Kehilangan kemampuan mempertahankan posisi tidak akan terjadi dari kegagalan sebuah Active Component seperti generator, *thruster*, switchboards, remote controlled valves, dan lain lain. Tapi dapat terjadi bila ada kegagalan pada komponen statis, seperti kabel, pipa, katup manual, dan lain-lain.
- Equipment Class 3, merupakan DP yang memiliki *redudance* serta mampu bertahan dari kebakaran dan banjir tanpa mengalami kegagalan sistem. Kehilangan kemampuan mempertahankan posisi tidak akan terjadi dari sebuah kegagalan termasuk bila sub-divisi lain hangus atau mengalami banjir.

Beban yang terjadi pada thruster di sistem DP ini tidak linear melainkan fluktuatif tergantung dari kondisi lingkungan. Beban *non-linear* pada motor listrik thruster ini mengakibatkan terjadinya distorsi gelombang sinusoidal yang dapat berpengaruh terhadap komponen-komponen lainnya. Beberapa komponen yang sangat terpengaruh dari dampak distorsi harmonisa ini ialah peralatan komunikasi serta komponen yang digunakan untuk pengukuran dan lainnya. Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisa distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan pada kapal AHTS BNI CASTOR dengan Sistem DP 1 serta akan dilakukan perancangan filter harmonisa pasif untuk mengurangi besarnya nilai VTHD atau *Voltage Total Harmonic Distortion* agar memenuhi standard dan rules klasifikasi.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan permasalahan yang timbul dalam penelitian ini ada tiga, yaitu :

1. Bagaimana grafik hasil simulasi gangguan harmonisa pada sistem kelistrikan kapal AHTS BNI CASTOR?
2. Bagaimana cara mengatasi distorsi harmonik yang timbul pada sistem kelistrikan AHTS BNI CASTOR ?
3. Berapa nilai presentase gelombang harmonisa pada beberapa orde dan nilai total harmonisa pada sistem kelistrikan kapal AHTS BNI CASTOR sebelum dan setelah dilakukan penambahan Filter Harmonisa Pasif?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat berjalan dengan efektif dan tujuan tercapai maka diperlukan adanya pembatasan permasalahan, diantaranya adalah :

1. Perhitungan Biaya tidak diperhitungkan
2. Perancangan Filter Harmonisa Pasif dilakukan pada kondisi operasi yang menghasilkan nilai harmonisa diatas standard
3. Simulasi ini dilakukan pada beban kapal kondisi DP *manouvering*.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah diatas maka dapat ditentukan tujuan dari Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Mendapatkan nilai harmonisa pada sistem kelistrikan Kapal AHTS BNI CASTOR akibat penggunaan *thruster* elektris saat menggunakan sistem *dynamic positioning*
2. Melakukan perancangan filter harmonisa pasif untuk mengurangi nilai harmonisa pada sistem.
3. Mendapatkan nilai harmonisa sebelum dan sesudah menggunakan filter harmonisa pasif
4. Menganalisa dampak yang dapat dihasilkan akibat distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan kapal AHTS BNI Castor

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Memperoleh spesifikasi filter harmonisa pasif yang sesuai untuk menurunkan nilai distorsi harmonisa pada kapal AHTS BNI Castor akibat penggunaan *thruster* elektris
2. Sebagai refrensi bagi kapal AHTS BNI Castor untuk mengantisipasi dan menganalisa gangguan-gangguan kelistrikan yang mungkin terjadi akibat timbulnya distorsi harmonisa pada sistem kelistrikan kapal.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem *Dynamic Positioning*

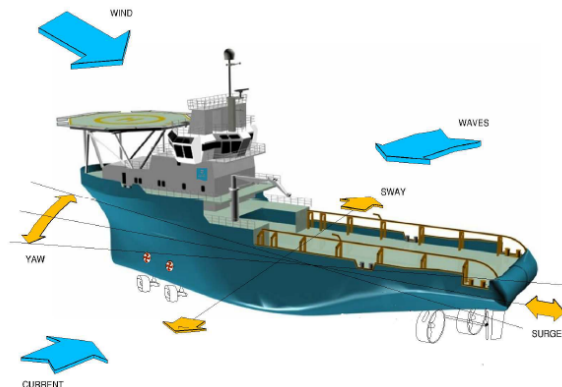
Menurut Jon Holvik pada paper dengan judul Basic Of DP, pengertian dasar dari *Dynamic Positioning* adalah cara menahan kapal dalam posisi yang relatif tidak berubah dengan acuan dasar lautan, tanpa menggunakan jangkar melainkan menggunakan dua atau lebih propulsi yang dikontrol dengan masukan dari instrument pada dasar laut dan pada kapal, gyrocompass, dengan satelit navigasi atau dengan cara lain (Holvik, 1998). Selain itu menurut sorensen, Dynamic positioning pada kapal ada prosedur dimana secara otomatis mempertahankan posisi dan heading dari kapal dengan menggunakan propeller dan *thruster* sendiri (Sorensen, 1996).

Dynamic Positioning telah mengalami pengembangan sejak 58 tahun silam seiring dengan berkembangnya industri minyak. Banyak dari pekerjaan eksplorasi di perairan dalam tidak dapat dikerjakan tanpa menggunakan sistem Dynamic positioning ini. Awal mula pengembangan Dynamic Positioning ini berawal pada tahun 1950 dimana teknologi pengeboran dengan menggunakan Jack-Up Rig telah mencapai batas maksimal kedalaman-nya, dimana lego jangkar menjadi tidak ekonomis lagi. Selanjutnya pada tahun 1961 kapal pengeboran yang diberi nama Cuss 1 (Continental, Union, Shell & Superior Oil Consortium) di luncurkan dimana kapal ini memiliki 4 propeller yang dapat dikemudikan. Pada pengembangan ini, operator DP hanya mengandalkan radar dan teknologi sonar untuk mengetahui posisi dari kapal. Pada tahun yang sama diluncurkan pula kapal yang diberi nama Eureka. Kapal ini memiliki teknologi yang lebih maju dimana telah memiliki *thruster* pada bagian depan dan belakang kapal yang mampu berotasi 360 derajat serta Taut Wire atau Tilt meter, kapal ini merupakan kapal DP pertama yang sesungguhnya (Sean, 2009). Untuk mengatur serta meregulasi dari sistem Dynamic Positioning ini, pada tahun 1990 dibentuk Asosiasi Pemilik Kapal Dynamic Positioning (DPVOA). Asosiasi ini mengumpulkan data insiden dan mengembangkan guideline berdasarkan informasi tersebut. DPVOA bekerja sama dengan IMO menghasilkan Maritime Safety Committee Circular 645. Pada tahun 1995, DPVOA melakukan merger dengan AODC untuk membentuk International Marine Contractors Association (IMCA) dimana hingga saat ini menjadi satu-satunya badan regulator DP.

Setiap kapal memiliki 6 jenis pergerakan bebas yakni *yaw*, *surge*, *sway*, *heave*, serta *pitch and roll*. Pergerakan tersebut dihasilkan akibat gaya yang berasal dari angin, gelombang, arus laut dan lainnya. Respon yang diberikan oleh kapal akibat gaya-gaya tersebut ialah perubahan position serta heading. Pada Sistem *Dynamic Positioning* ini, pergerakan Heave dan Pitch and Roll tidak dapat dikendalikan oleh sistem DP.

Sistem Dynamic Positioning ini mengukur nilai deviasi antara titik posisi aktual dari kapal dengan posisi yang seharusnya, lalu menghitung gaya dimana *thruster* harus hasilkan untuk memperoleh nilai deviasi sekecil mungkin. Sistem ini mengontrol gerakan kapal dalam 3 derajat kebebasan yakni, *surge*, *sway* dan *yaw*.

Gambar 2.1 menunjukkan 3 derajat pergerakan yang terdapat pada kapal yakni yaw, sway dan surge dimana ketiga pergerakan tersebut dipengaruhi oleh gaya angin, gelombang dan arus laut.



Gambar 2.1 Tiga Derajat Kebebasan pada Kapal
Sumber : John Holvik, 1998

Teknologi Dynamic Positioning System merupakan teknologi di bidang maritim yang sangat dibutuhkan khususnya pada industri minyak lepas pantai. Teknologi ini memiliki keunggulan yang dapat dijelaskan sebagai berikut (Chas & Garcia, 2015):

- Kapal menjadi sangat mudah bermanuver
- Respon secara cepat terhadap perubahan cuaca
- Fleksibilitas dalam sistem
- Kemampuan untuk bekerja di laut dalam
- dapat menyelesaikan pekerjaan singkat dengan lebih cepat sehingga lebih ekonomis
- menghindari resiko merusak peralatan di dasar laut baik dari tali tambat maupun dari jangkar
- dapat berpindah ke lokasi baru dengan cepat

Dynamic Positioning System tidak selalu menjadi pilihan terbaik khususnya pada sisi ekonomis. Tali tambat biasanya merupakan pilihan yang lebih baik untuk perairan dangkal atau operasi yang tidak memerlukan perpindahan kapal yang sering. Berikut adalah beberapa kelemahan dari penggunaan Dynamic Positioning sistem (Chas & Garcia, 2015):

- Biaya investasi dan operational sangat tinggi
- Dapat gagal mempertahankan posisi akibat kegagalan peralatan
- konsumsi bahan bakar yang tinggi
- *Thruster* berbahaya bagi penyelam
- dapat hilang posisi pada cuaca ekstrim atau di perairan dangkal dan arus laut yang kuat.
- Control dari posisi kapal bergantung pada operator manusia dan membutuhkan personel tambahan untuk mengoperasikan dan merawat peralatan.

2.2 Klasifikasi Sistem *Dynamic Positioning*

Menurut IMO, kapal dengan sistem dynamic positioning diklasifikasikan menjadi 3 klas yang tertulis pada "*Guidelines for vessel with dynamic positioning systems*" (IMO MSC Circ.645). Berikut adalah penjelasan ketiga klasifikasi tersebut:

- *Equipment Class I*, kehilangan posisi mungkin terjadi akibat kegagalan sebuah sistem
- *Equipment Class II*, kehilangan posisi tidak akan terjadi bila sebuah komponen atau sistem aktif mengalami kegagalan. Umumnya komponen statis tidak dipertimbangkan akan mengalami kegagalan.
- *Equipment Class III*, pada klas ini sebuah kegagalan mencakup seluruh poin pada klas 2 dan komponen statis diasumsikan mengalami kegagalan. Seluruh komponen pada salah satu kompartemen kedap air baik dari kebakaran maupun banjir.

Perbedaan terbesar antara *Equipment Class 1* dan *Class 2* adalah Kapal dengan *Equipment Class 1* diperbolehkan untuk gagal sepenuhnya, contoh kehilangan posisi dan arah dimana pada Kapal dengan *Equipment Class 2* tidak diharapkan untuk terjadi demikian. Selain itu perbedaan terbesar antara *Equipment Class 2* dan *Class 3* adalah definisi dari mode kegagalannya yang relevan. Pada *Class 2*, segala kegagalan bersifat teknis masih relevan, namun beberapa jenis peralatan pasif dipercayakan berada diluar bahaya. Sedangkan pada *Class 3*, seluruh persyaratan mengadopsi dari *Class 2*, lalu ditambahkan dengan kegagalan yang diakibatkan oleh kebakaran dan banjir pada kapal. Persyaratan terakhir ini menghasilkan kebutuhan pemisahan peralatan secara fisik dimana tidak diatur di *Class 2* (Rokeberg, 1997).

Untuk kapal yang memenuhi *Equipment Class 3*, harus terdapat pemisahan secara fisik dari sistem peralatan-nya dengan pertimbangan bahaya kebakaran dan banjir. Terdapat pula persetujuan yang umum dilakukan dimana memberikan persyaratan tidak kurang dari 2 kamar mesin dengan pemisah sekat kedap api A-60. Pada kapal dengan *class 2*, tidak ada persyaratan keandalan pada sistem perpipaan. Sistem perpipaan pada *class 2* ini masuk kedalam kategori komponen pasif.

Pertimbangan dalam pemilihan class dari kapal yang memadai untuk melakukan tugas tertentu atau serangkaian tugas, di jelaskan pada bagian 2.1 dari 113 IMO - "*Guidelines for vessel with dynamic positioning systems*" (IMO MSC Circ.645) yang menyatakan sebagai berikut : "*Equipment Class* dari kapal yang dibutuhkan untuk operasi tertentu harus disetujui antara pemilik dari kapal dengan pengguna berdasarkan analisa resiko akibat dari kehilangan posisi. Selain itu, administrasi atau negara pantai dapat memutuskan *Equipment Class* yang digunakan untuk operasi tertentu."

Selain itu menurut Holger Rokenberg, nasib ekonomi dari pemilik kapal atau operator lepas pantai tidak menjamin kelas tertentu, pertimbangan pemilihan kelas diserahkan kepada pemilik/operator. Tetapi menurut faktanya, Kapal dengan DP dapat menyebabkan resiko kerusakan pada instalasi bangunan lepas pantai yang dapat mengganggu pendapatan nasional suatu negara (Rokeberg, 1997) . Direktorat Maritim Norwegia enggan untuk menuliskan apa saja prasyarat yang dibutuhkan dalam pemilihan *Equipment Class*, tetapi mereka cukup jelas tentang penggunaan *Equipment Class 3* untuk operasi pengeboran dan keterlibatan lainnya pada sumur aktif (Rokeberg, 1997).

Menurut *Dynamic Positioning Committee*, merekomendasikan penggunaan *Equipment Class* dari Kapal berdasarkan pekerjaan yang dilakukannya. Berikut adalah tabel dari Aplikasi DP dengan Rekomendasi minimal Equipment class dari pekerjaan tersebut (Dynamic Positioning Committee, 2012):

Tabel 2.1 Klasifikasi DP Berdasarkan Pekerjaan
Sumber : (Dynamic Positioning Committee, 2012)

Application on DP	Minimum Recommended DP Equipment Class (See Note 1 below)	Remarks
Drilling	2	
Diving	2	
Pipelay	2	
Umbilical Lay	2	
Lifting	2	
Accommodation	2	
Shuttle Offtake	2	
ROV Support (Open Water)	1	
ROV Support (Close Proximity - Surface/ Subsea)	2	
Floating Production	2	
Seismic and Survey vessels (Open water- outside 500 m zone)	**	Class in accordance with contractual requirements
Well Stim	2*	Vessels of lesser Class may be used with the appropriate structured risk identification and mitigation measures in place.
Logistics Operations	2*	Vessels of lesser Class may be used with the appropriate structured risk identification and mitigation measures in place.

2.3 Komponen Sistem *Dynamic Positioning*

Secara umum, sistem *Dynamic Positioning* terdiri dari 6 sub-sistem yang saling terhubung dan memberikan informasi. Berikut adalah 6 sub-sistem pada *Dynamic Positioning System* (Ritchie, 2008):

1) Control System

Kontrol sistem pada *Dynamic Positioning* tidak hanya terbatas pada komputer pusat dari keseluruhan sistem, melainkan operator dari DP serta konsol pengoperasian pada *Bridge Deck*. Kontrol sistem pada *dynamic positioning* merupakan pusat dari segala aktifitas DP. Seluruh informasi yang diperoleh dari sensor *heading* dan sensor lingkungan di teruskan ke *manoeuvring system* untuk mempertahankan posisi dan arah kapal yang diharapkan.

2) Position Reference Systems

Refrensi lokasi merupakan hal terpenting pada sistem Dynamic Positioning dimana refrensi lokasi ini nantinya memberikan pertimbangan kepada Sistem Thruster untuk menggerakkan kapal agar kembali ke posisi semula. Refrensi lokasi pada sistem DP ini umumnya terdiri dari 5 jenis komponen, yakni :

- *Differential Global Positioning System (DGPS)*, komponen ini beroperasi dengan refrensi dari satelit yang mengorbit bumi pada posisi tertentu dan mentransmisikan sinyal. Sinyal yang ditransmisikan oleh satelit tersebut lalu ditangkap oleh GPS yang terpasang pada kapal dan dikalkulasikan berdasarkan periode dari transfer sinyal tersebut.
- *Hydro Acoustic position Reference Systems*, komponen ini menggunakan transduser yang dipasangkan pada kapal, serta transponder yang diletakkan di dasar laut.
- *Fanbeam*, merupakan komponen berupa optical laser radar yang memiliki kemampuan penyinaran sebesar 20°. Alat ini dapat mengetahui jarak antara kapal dengan target reflector dari Fanbeam tersebut.
- *Taut Wire Systems*, pada sistem refrensi ini *clump weight* yang dikaitkan ke davit melalui tali baja dijatuhkan ke dasar air. Saat *clump* berada pada dasar laut dan terhubung dengan sebuah tali, sensor yang terpasang pada davit tadi dapat mengetahui perbedaan sudut antara davit dengan *clump weight* ketika kapal mengalami perubahan posisi. Posisi relatif antara kapal dengan *clump weight* pada dasar laut tadi dihitung menggunakan kedalaman air dan sudut tali tersebut.
- *Rada Scan*, merupakan sensor posisi dengan menggunakan gelombang mikro yang di desain pada operasi pada rentang 10 hingga 10km.

3) Heading Reference Systems

Refrensi arah dari sistem dynamic positioning umumnya menggunakan 2 atau 3 unit gyro compass untuk menjaga level kehandalan dari kapal tersebut.

4) Environmental Reference Systems

Lingkungan memberikan efek pada performa sistem DP dimana dapat menambahkan gaya tambahan pada pergerakan kapal. Untuk mengatasi gaya tersebut, kapal dengan sistem DP dilengkapi dengan sensor angin yang terletak pada lokasi yang tidak terhalang badan kapal.

5) Power Management Systems

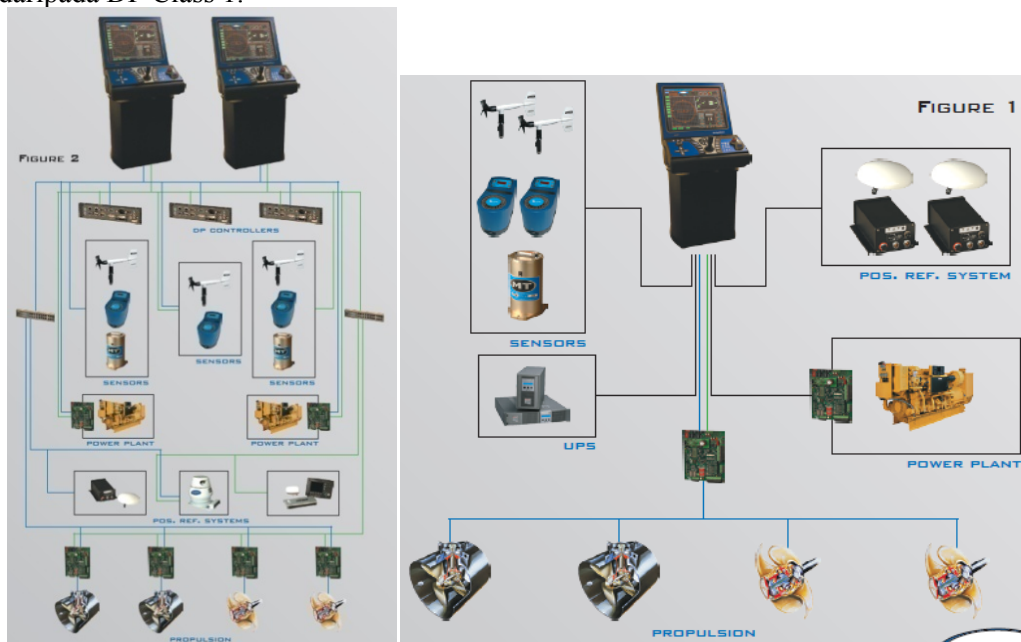
Fungsi dari power management system adalah untuk mengatur daya pada sistem manuvering. Jika kapal mengalami kegagalan, power management system harus dapat mempertahankan daya ke sistem manuvering.

6) Manoeuvring Systems

Sistem manuvering kapal berfungsi untuk memberikan control yang diperlukan dan pergerakan pada sistem DP. Sistem manuvering ini terdiri dari *main propellers*, *rudders*, *tunnel thruster*, dan *azimuth thruster*.

Kapal dengan klasifikasi DP berbeda akan memiliki jumlah komponen yang berbeda pula, hal ini dikarenakan kapal dengan DP *Class* lebih akan semakin lebih handal dan memiliki lebih banyak *backup component* untuk mencegah terjadinya kegagalan untuk mempertahankan posisi dan arah. Salah satu contoh yang membedakan antara DP *Class 1* dengan DP *Class 2* adalah komputer yang digunakan untuk kontrol sistem pada DP *Class 2* berjumlah 2 unit sedangkan pada DP *Class 1* berjumlah 1 unit, hal ini dapat dilihat dari skematik DP 1 dan 2 dibawah ini yang diproduksi oleh *Marine Technologies*:

Pada **Gambar 2.2** menunjukkan perbedaan jumlah komponen antara Dp Class 2 dengan DP Class 1 dimana pada DP Class 2 jumlah tiap komponennya lebih banyak daripada DP Class 1.

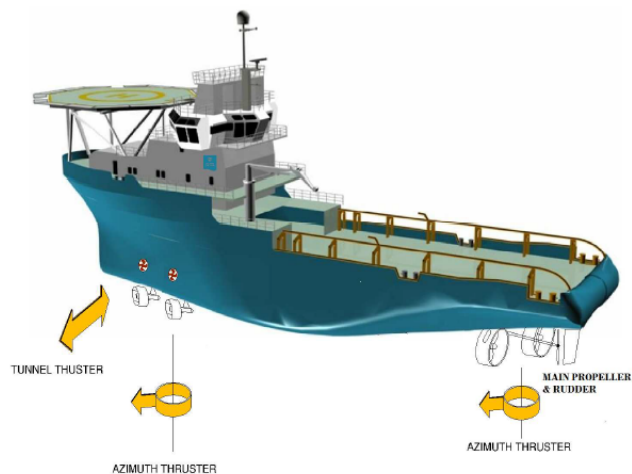


Gambar 2.2 (a) Skematik Sistem DP Class 2 (b) Skematik Sistem DP Class 1
Sumber : Bridge Mate by Marine Technologies

2.4 Thruster pada Sistem *Dynamic Positioning*

Kapal dengan sistem *dynamic positioning* harus mampu memberikan gaya yang dibutuhkan untuk melakukan manuver pada kondisi surge, sway dan yaw. Besarnya gaya yang dihasilkan harus dapat dikendalikan dari nilai 0 hingga tenaga penuh dan pada arah 360 derajat. Umumnya kapal dengan Sistem *dynamic positioning* memiliki beberapa pendorong lain selain propulsi utama, yakni tunnel *thruster* dan azimuth *thruster* (Chas & Garcia, 2015).

Pada **Gambar 2.3** dibawah ini menunjukkan macam-macam lokasi dari *thruster* pada kapal dengan sistem *dynamic positioning*.



Gambar 2.3 Macam-Macam Lokasi *Thruster* pada Kapal dengan Sistem *Dynamic Positioning*
 Sumber : John Holvik, 1998

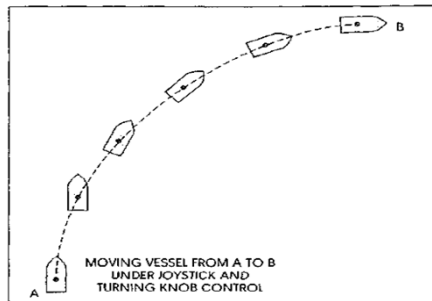
Thruster yang terdapat pada kapal dengan sistem DP harus terletak pada lokasi terbaik dimana *thruster* dapat mengendalikan posisi kapal. Kapal dengan Sistem DP umumnya memiliki 6 *thruster* dimana 3 terletak didepan kapal dan 3 terletak di belakang kapal. *Forward Thruster* umumnya berupa *tunnel thruster* sedangkan *Stern Thruster* umum berupa *Azimuth Thruster* yang dapat berputar ke segala arah (Ritchie, 2008). Pada kapal dengan kemampuan Dynamic Positioning, konsumsi daya terbesarnya terletak pada Sistem *Thruster*-nya. Kebanyakan kapal dengan kemampuan DP, menggunakan mesin diesel-electric pada sistem *thruster*-nya sedangkan pada kelistrikan lainnya menggunakan mesin diesel yang menggerakkan alternator.

2.5 Mode Operasi pada Kapal dengan Sistem *Dynamic Positioning*

Dynamic Positioning merupakan sistem untuk mempertahankan posisi serta arah dari sebuah kapal. Dalam operasinya, *Dynamic Positioning* dapat melakukan beberapa mode pekerjaan berbeda baik secara otomatis penuh, manual maupun manual-otomatis. Berikut adalah penjelasan dari 6 mode pekerjaan pada *Dynamic positioning*:

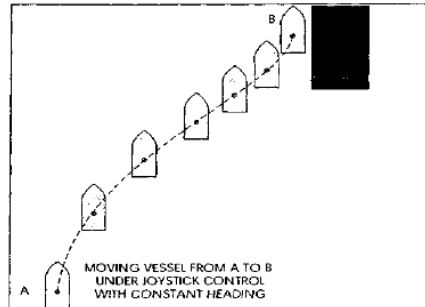
- a) *Joystick Manual Heading Mode*, pada mode ini keseluruhan pergerakan baik perubahan posisi maupun arah dikendalikan sepenuhnya oleh DP Operator.

Berikut adalah ilustrasi dari mode manual ini:



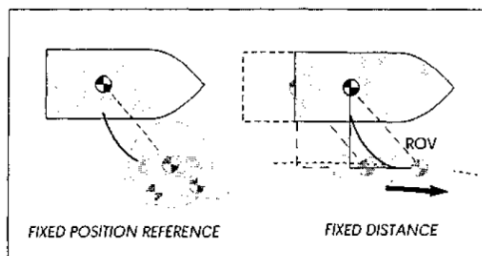
Gambar 2.4 Mode Operasi *Joystick Manual Heading*
 Sumber : (Adria Marie, 2008)

- b) *Joystick Auto Heading Mode*, pada mode ini perpindahan posisi dari kapal dikontrol sepenuhnya oleh operator sedangkan arah kapal menghadap dikontrol oleh Gyrocompass. Berikut adalah ilustrasi dari mode manual ini:



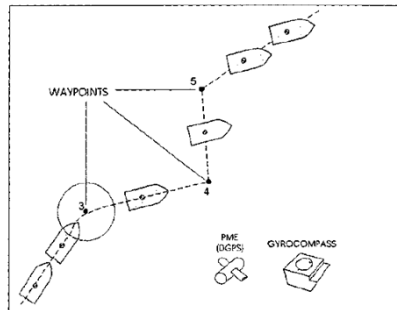
Gambar 2.5 Mode Operasi *Joystick Auto Heading*
 Sumber : (Adria Marie, 2008)

- c) *Follow Target Mode*, fungsi dari mode ini adalah menjaga posisi kapal relatif terhadap kendaraan bawah air yang terhubung dengan kapal. Mode ini banyak digunakan pada kapal dengan kemampuan survey bawah air menggunakan ROV atau *Remotely Operated Vehicle*. Mode ini terbagi menjadi 2, yakni *Fixed Position Reference* dimana posisi kapal telah ditentukan sebelumnya dan kapal mengikuti posisi dan menjaga jarak dengan ROV dan *Fixed Distance* dimana pada kapal mengikuti penuh pergerakan dari ROV. Berikut adalah ilustrasi dari mode ini:



Gambar 2.6 Mode Operasi *Follow Target*
 Sumber : (Adria Marie, 2008)

- d) *Auto Track Mode*, tujuan dari mode ini adalah kapal dapat bergerak sesuai dengan *waypoint* yang telah ditentukan. Umumnya kecepatan kapal pada mode ini lambat. Mode ini menggunakan 2 sistem referensi yakni referensi posisi dan referensi arah. Berikut adalah ilustrasi dari mode ini:



Gambar 2.7 Mode Operasi *Follow Target*
 Sumber : (Adria Marie, 2008)

- e) *Weathervane Mode*, pada mode ini kapal dengan DP sistem dapat berputar mengikuti arah angin, arus dan gelombang dimana posisi nya tidak berubah dan tetap berada pada satu titik (Adria Marie, 2008). Mode ini umumnya digunakan pada operasi di FPSO.
- f) *Heavylift Mode*, pada mode ini diberikan masukan berupa massa yang dipindahkan ke kapal akibat muatan pada kapal sehingga memberikan informasi tambahan kepada *dynamic positioning system*.
- g) *External Force Compensation Mode*, pada mode ini gaya luar yang tidak berasal dari lingkungan dimasukkan kedalam perhitungan DP dan dimasukkan kedalam kategori *force feed forward*. Gaya ini diakibatkan dari tegangan pipa pada saat pekerjaan pipe laying dan tegangan hawser pada shuttle tanker.

2.6 Mode Konfigurasi Sistem Kelistrikan pada Kapal dengan Sistem *Dynamic Positioning*

Terdapat dua mode konfigurasi generator yang umumnya digunakan pada kapal dengan sistem *dynamic positioning* yakni mode *open (split) bus* atau disebut juga dengan *islanded* dan mode *close bus*. Perbedaan kedua mode tersebut adalah pada mode *open bus*, beban-beban penting yang diharapkan tidak mengalami gangguan memiliki sistem daya tersendiri yang terisolasi dari beban-beban lainnya. Sedangkan pada mode *closed bus*, seluruh beban pada kapal terhubung pada satu bus sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu beban dapat berdampak pula pada beban lainnya maupun pada generator (Roa, 2016).

Untuk meningkatkan redundansi pada kapal saat mengoperasikan sistem *dynamic positioning*, umumnya kapal dengan DP klas 2 dan 3 beroperasi menggunakan konfigurasi kelistrikan *close bus* pada saat berlayar dan menggunakan konfigurasi *open bus* pada saat sistem mengoperasikan *dynamic positioning*, dengan menggunakan *open bus* ini resiko *thruster* mengalami gangguan saat dioperasikan dapat diturunkan. Pada konfigurasi *open bus* ini, terdapat dua group yang terdiri dari beberapa *thruster* dan generator yang beroperasi secara terpisah satu dengan lainnya (Roa, 2016).

Dalam kurun waktu 10 hingga 15 tahun kebelakang ini, terjadi perubahan besar pada regulasi lingkungan serta kondisi ekonomi saat ini yang berdampak pada cara pembangkit listrik di kapal dioperasikan. Regulasi lingkungan seperti MAROL Annex VI mensyaratkan operator untuk menurunkan emisi mencapai batas yang telah diberlakukan secara internasional terhadap nilai emisi SOX, NOX dan CO₂. Pada kapal yang beroperasi di Area Kontrol Emisi, batasan-batasan emisi tersebut lebih diperketat lagi. Secara bersamaan, akibat kondisi dari perekonomian dunia dan meningkatnya kompetisi antara operator kapal DP, pertimbangan biaya mengakibatkan pengoperasian mesin diesel pada generator untuk dioperasikan pada efisiensi maksimum untuk menghemat biaya bahan bakar dan meminimalkan jam kerja mesin, sehingga dapat pula menghemat biaya perawatan. Akibat dari peraturan lingkungan dan kondisi perekonomian dunia tersebut, operator kapal DP mengoperasikan sistem kelistrikannya dengan konfigurasi sistem *closed bus*. Dimana pada konfigurasi ini jumlah generator yang dibutuhkan untuk beroperasi dapat berkurang dan pada saat bersamaan juga meningkatkan persentasi pembebanan ada setiap generator yang beroperasi (Roa, 2016).

Berikut adalah beberapa manfaat menggunakan konfigurasi sistem *closed bus* pada sistem kelistrikan di kapal DP (Roa, 2016):

1. Generator dapat dioperasikan pada persentase pembebanan yang lebih tinggi dimana mesin dapat beroperasi pada puncak efisiensi tertinggi sehingga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar.
2. Emisi udara seperti SOX dan NOX dapat berkurang secara signifikan karena pembakaran bahan bakar lebih sempurna pada kondisi pembebanan yang lebih tinggi.
3. Pengoperasian generator pada persentase beban tinggi juga dapat mengurangi penumpukan karbon pada bagian dalam mesin yang terbentuk akibat pembebanan rendah pada mesin sehingga meningkatkan kebutuhan untuk perawatan berkala.
4. Jumlah generator yang dioperasikan lebih sedikit untuk mensuplai besarnya beban listrik yang besarnya sama dengan demikian secara drastis mengurangi jam kerja dari mesin dan mengurangi biaya perawatan mesin.

2.7 Thruster Elektrik

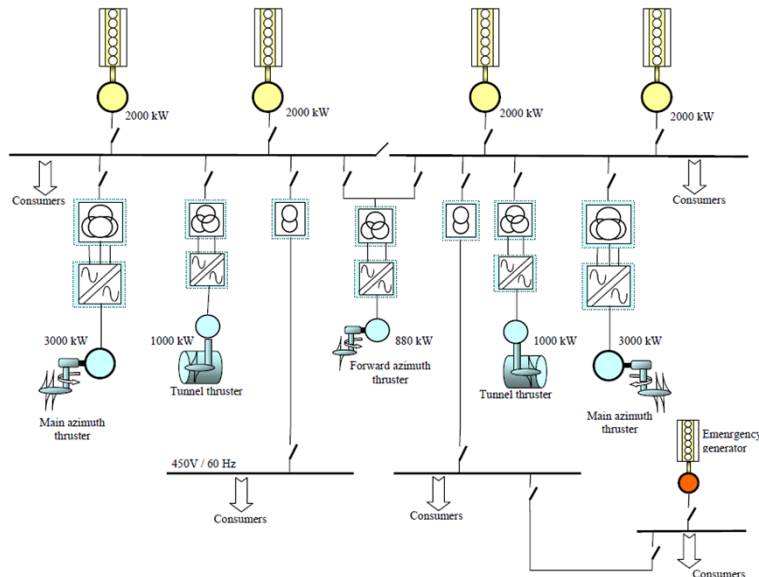
Banyak Kapal baru dengan Sistem DP untuk keperluan *Offshore Supply Vessel* telah menggunakan *thruster* diesel-elektrik. Pengurangan konsumsi bahan bakar dan pengurangan emisi dari *thruster* konvensional dibanding dengan *thruster* diesel-elektrik signifikan untuk kapal dengan kondisi operasional yang beragam. Menurut paper yang dikeluarkan oleh ABB AS, penghematan bahan bakar sebesar 30-40% terjadi pada kapal dengan *thruster* diesel-elektrik (Adnanes, 2003).

Pada sistem *thruster* diesel-elektrik, mesin dijalankan untuk menggerakkan generator dan menghasilkan listrik yang dibutuhkan. Listrik yang dihasilkan oleh generator tadi di distribusikan menuju *end-user* melalui transformer, switchboard dan converter. Secara garis besar, komponen utama pada kapal dengan propulsi elektris adalah sebagai berikut:

- a) *Electric Power Generation*
- b) *Electric Power Distribution*

- c) *Variable Speed Drives*
- d) *Thruster Units*

Pada **Gambar 2.8** dibawah ini menunjukkan contoh skematik *single-line* kelistrikan *thruster* pada kapal *Offshore Supply*.



Gambar 2.8 *Simplified Single-Line Offshore Supply Vessel*
 Sumber : (Adnanes, 2003)

2.8 Kualitas Daya pada Sistem Kelistrikan

Power Quality atau kualitas daya listrik merupakan suatu konsep yang memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik akibat adanya gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan. Selain itu menurut Nima Bayan dalam Thesis dengan Judul "*Harmonic Flow Analysis in Power Distribution Networks*", Kualitas daya merujuk ke pengukuran, analisa dan pengembangan dari *Bus Voltage* untuk menjaga tegangan pada gelombang sinusoid pada *rated voltage* dan *rated frequency*.

Kualitas daya menjadi perhatian dalam sistem kelistrikan. Berikut adalah 5 alasan dari meningkatnya perhatian terhadap kualitas daya:

- 1) Pertumbuhan beban-beban listrik dewasa ini bersifat lebih peka terhadap kualitas daya listrik, seperti penggunaan sistem kendali dengan berbasis pada mikroprosessor
- 2) Meningkatnya perhatian yang ditekankan pada efisiensi sitem daya listrik secara menyeluruh, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan peralatan dengan efisiensi tinggi, seperti pengaturan kecepatan motor listrik dan penggunaan kapasitor untuk perbaikan faktor daya. Penggunaan peralatan-peralatan tersebut dapat mengakibatkan peningkatan terhadap nilai harmonik pada sistem daya listrik.

- 3) Meningkatnya kesadaran bagi para pengguna energi listrik terhadap masalah kualitas daya listrik.
- 4) Sistem tenaga listrik yang saling berhubungan dalam suatu jaringan interkoneksi, dimana sistem tersebut memberikan suatu konsekuensi bahwa kegagalan dari setiap komponen dapat mengakibatkan kegagalan pada komponen lainnya.
- 5) Kualitas daya yang buruk dapat mengakibatkan tidak diinginkannya pemberhentian operasi dari sistem, dimana dapat mengakibatkan meningkatnya biaya tagihan pelanggan.

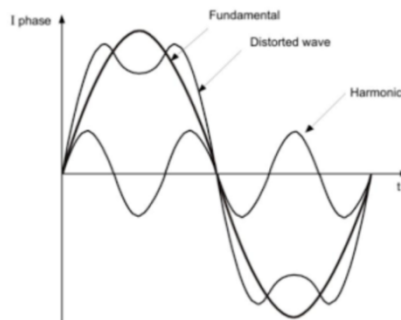
Menurut Nima Bayan dalam Thesis dengan Judul "*Harmonic Flow Analysis in Power Distribution Networks*", problem dari kualitas daya dikategorikan berdasarkan fenomena elektromagnetik sebagai berikut:

- Transient
 - Impulsive
 - Oscillating
- Variasi Jangka Pendek
 - Instan
 - Dalam jangka waktu singkat
 - Dalam Periode Waktu Tertentu
- Variasi Jangka Panjang
 - Gangguan Berkelanjutan
 - Undervoltage*
 - Overvoltage*
- Ketidak seimbangan Tegangan
- Distorsi Bentuk Gelombang
 - DC Offset*
 - Harmonis
 - Interharmonis
 - Noise
- Fluktuasi Tegangan
 - Flicker*
- Variasi Frekuensi Daya

2.9 Gangguan Harmonisa pada Sistem Kelistrikan

Harmonisa dapat dikatakan sebagai cacat pada gelombang akibat adanya interferensi gelombang lain yang memiliki frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi *fundamental*-nya. Frekuensi harmonisa ini dapat mengakibatkan frekuensi fundamental atau frekuensi dari gelombang sinusoidal murni pada sistem mengalami distorsi (Arifin, Pujiantara, & Mustofa, 2014). Sistem daya konvensional AC di desain untuk beroperasi pada tegangan dan arus *sinusoidal*. Namun, beban non-linear akan mendistorsi kondisi stabil dari gelombang tegangan dan arus AC tersebut. Bentuk gelombang yang terdistorsi secara periodik dapat dipelajari dengan menganalisa komponen harmonik dari gelombang.

Pada **Gambar 2.9** dibawah ini menunjukkan bentuk gelombang fundamental, gelombang harmonisa serta gelombang fundamental yang telah terdistorsi akibat gelombang harmonisa



Gambar 2.9 Bentuk Gelombang Fundamental, Harmonisa dan Gelombang Terdistorsi
Sumber : (Tuara, 2015)

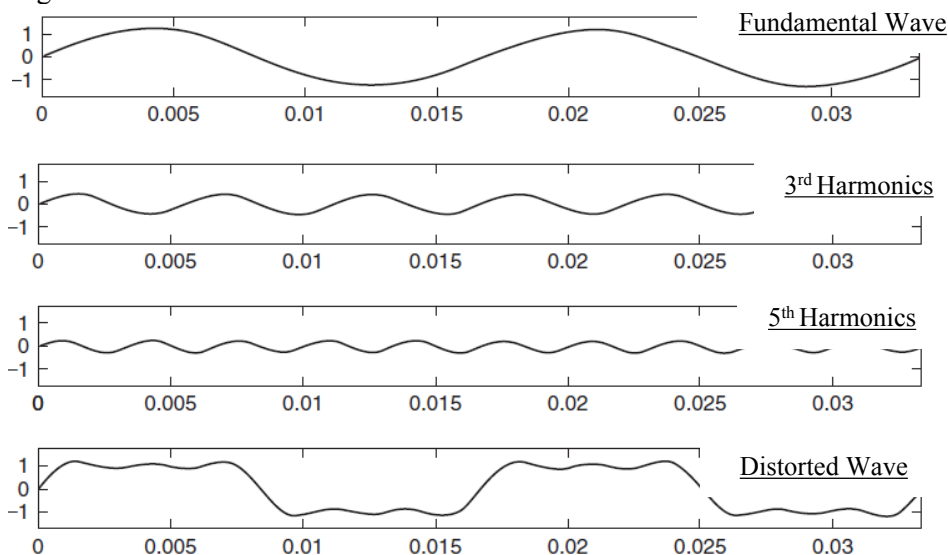
Analisa harmonisa menjadi salah satu hal penting dalam perancangan dan analisa sistem daya. Hal ini untuk menghitung distorsi gelombang arus dan tegangan pada berbagai titik dalam sistem daya dan untuk mengetahui apakah terjadi kondisi resonansi yang berbahaya. Mempelajari harmonisa merupakan sebuah hal penting sebab saat ini banyak peralatan yang menghasilkan gelombang harmonisa itu sendiri. Saat gelombang harmonisa merambat pada sistem, maka akan terjadi peningkatan kerugian dan kemungkinan terjadinya kerusakan pada komponen. Peralatan dapat rusak akibat kelebihan arus atau tegangan yang dihasilkan dari resonansi. Lebih lagi, harmonic dapat ber-inteferensi dengan peralatan kontrol, komunikasi dan peralatan pengamanan (Bayan, 1999).

Terdapat 2 sumber utama Harmonisa pada sistem daya konvensional (Bayan, 1999), yakni sebagai berikut:

- 1) Peralatan yang melibatkan *Electronic Switching*
- 2) Peralatan dengan tegangan dan arus yang *non-linear*

Umumnya frekuensi harmonisa adalah perkalian integral (3, 5, 7, 11, 13, 15, dst.) dari *fundamental* (supply) frekuensi. Pada sistem dengan frekuensi 50Hz tegangan ac, dengan pengali gelombang harmonisa orde 7th menghasilkan frekuensi 350 Hz dan pada gelombang harmonisa orde 11th menghasilkan frekuensi 550Hz. Pada generator AC dengan bentuk gelombang sinusoidal dimana bentuk gelombang positif dan negatif identik, semua pengali dengan nomer genap dihapuskan, serta pada sistem AC 3 fasa, semua harmonisa yang dikalikan dengan 3 juga otomatis dibatalkan sehingga meninggalkan *harmonic number* 5th, 7th, 11th, 13th, 17thdll. Frekuensi harmonisa pada setiap orde tersebut jika dijumlahkan maka akan mengakibatkan distorsi harmonisa terhadap gelombang sinusoidal murni atau gelombang fundamentalnya. Gambar dibawah ini merupakan contoh dari gelombang fundamental yang terdistorsi akibat adanya harmonisa pada orde ke 3 dan 5:

Pada **Gambar 2.10** dibawah ini menunjukkan bentuk gelombang fundamental, gelombang harmonisa orde ke 3 dan ke 5 serta gelombang terdistorsi akibat adanya gelombang harmonisa tersebut.



Gambar 2.10 Bentuk Gelombang Fundamental, Harmonisa orde 3 dan 5 serta Gelombang Terdistorsi

Sumber : (Kusko & T.Thompson, 2007)

Untuk menghitung besarnya Distorsi Harmonisa yang terjadi pada suatu sistem, digunakan rumus *Total Harmonic Distortion*, yakni perbandingan antara nilai komponen pada frekuensi harmonisa dengan nilai pada frekuensi fundamentalnya. Nilai THD ini terdiri dari komponen harmonik pada arus, THD (i) atau tegangan, THD (u) (Adnanes, 2003). Berikut adalah rumus perhitungannya:

$$THD(i) = 100\% \times \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} i_{(h)}^2}}{i_{(1)}}, \text{ and } THD(u) = 100\% \times \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} u_{(h)}^2}}{u_{(1)}}$$

dimana:

- $u_{(1)}$ dan $i_{(1)}$ adalah nilai fundamental RMS dari tegangan dan arus
- $u_{(i)}$ dan $i_{(i)}$ adalah nilai RMS dari i th harmonic dari tegangan dan arus

2.10 Dampak Distorsi Harmonik pada Sistem Kelistrikan

Keberadaan harmonisa dalam suatu sistem tenaga listrik dapat memberikan efek secara langsung maupun tidak langsung terhadap kualitas sistem tersebut. Pada sistem distribusi tenaga listrik, aliran harmonisa dapat menurunkan kualitas daya (*power quality*) dan juga beberapa masalah lainnya seperti meningkatnya nilai arus rms sehingga dapat menyebabkan terjadinya *overload* pada pembebanan. Generator, trafo, dan motor yang berada pada sistem yang mengalami distorsi harmonisa seringkali mengalami *overload* karena distribusi arus yang tidak sesuai dengan kemampuannya.

Setiap orde harmonisa memiliki urutan fasa yang dapat memberikan kerugian ke peralatan listrik. Urutan fasa tersebut adalah fasa urutan positif (+) yang dapat membuat rugi-rugi daya semakin besar sehingga konduktor menjadi panas, selanjutnya adalah fasa urutan negatif (-) yang dapat menghasilkan torsi berlawanan dengan putaran motor sehingga arus yang diserap motor meningkat dan motor menjadi panas, fase terakhir adalah fasa urutan nol (0) yang menyebabkan adanya arus mengalir di fasa netral sehingga rugi-rugi daya semakin meningkat (Sumarno, Penangsang, & Aryani, 2016).

Distorsi pada bentuk gelombang arus dan tegangan masuk dapat mengakibatkan (Adnanes, 2003):

- Percepatan Penuaan Material Insulasi,
Meningkatnya daya yang terdisipasi pada peralatan yang terhubung pada jaringan, seperti generator, motor, transformer, kabel dan lain sebagainya dari arus harmonik dapat menyebabkan *over heating* dan kemerosotan insulasi dan mengurangi usia peralatan
- Kelebihan Beban pada Peralatan Elektronik
Meningkatnya arus beban pada peralatan elektronik yang didesain untuk gelombang sinusoidal pada tegangan masuk dapat mengakibatkan terjadinya *overheating* dan malfungsi dari peralatan
- Malfungsi
Bentuk gelombang yang terdistorsi dapat mengakibatkan interferensi elektromagnetik atau kesalahan pada sinyal pengukuran jika peralatan tersebut tidak dirancang pada kondisi distorsi tersebut.

Selain itu Alexander Kusko dan Marc T.Thompson dalam tulisan dengan judul "*Power Quality in Electrical System*", harmonisa dapat memberi dampak langsung seperti pada peralatan dibawah ini:

Tabel 2.2 Dampak Distorsi Hamonis Terhadap Peralatan Listrik
Sumber : (Alexander Kusko, 2007)

At	Effects
Circuit Breakers	Malfuction
Capacitor banks	Overheating Insulation Breakdown Failure of internal fuses
Protection Equipment	False tripping No tripping
Measuring devices	Wrong measurements
Transformers, reactors	Overheating
Motors	Increased noise level Overheating Additional vibrations
Telephones	Noise with the respective harmonic frequency
Lines	Overheating
Electronic Devices	Wrong pulses on data transmission Over-/undervoltage Flickering screens
Incandescent lamps	Reduced lifetime Flicker

2.11 Standard Nilai *Total Harmonic Distortion* (THD)

Untuk mengetahui bahwa suatu sistem terdistorsi oleh harmonisa atau tidak, dapat dilihat dari nilai *Total Harmonic Distortion* (THD). Nilai THD merupakan nilai perbandingan antara nilai frekuensi dari frekuensi harmonisa dengan nilai pada frekuensi fundamentalnya. Nilai maksimal dari THD pada kapal diatur dalam *Classification Rule* Oleh DNV GL SE. Electrical Installation (I-1-3) tahun 2014. Berikut adalah rules DNV GL yang mengatur mengenai harmonisa pada sistem kelistrikan di kapal :

- 1) Section 1 - General Requirement and Guidance
 - F.2.1 *"In systems without substantial static converter load and supplied by synchronous generators, the total voltage harmonic distortion shall not exceed 5 %."*
 - F.2.2 *"In systems fed by static converters, and systems in which the static converter load predominates, for single harmonics in permanence the limit values indicated in Fig. 1.1 apply. The total harmonic distortion shall not exceed 8 %."*
- 2) Section 3 - Power Supply Installation
 - B.2.2 Wave Form *"The waveform of the line-to-line no-load voltage shall be as close as possible to sinusoidal. The deviation from a sinusoidal fundamental shall at no time exceed 5 % relative to the peak value of the fundamental. The RMS values of the phase voltages shall not differ from each other by more than 0.5 % under balanced load conditions."*
"If the star points of generators running in parallel are earthed, the waveforms of the phase voltages should coincide. It is to ensure that the transient current due to harmonics in the starpoint connection does not exceed 20 % of the rated current of the machine with the lowest output."
- 3) Section 13 - Additional Rules for Electrical Main Propulsion Plants
 - B.3.1 *"The effects of the harmonics of currents and voltages shall be taken into consideration for the design of the propulsion motors."*
 - C.5 Filter Circuits, C.5.1 *"If filter circuits are used to reduce the harmonics, these circuits must be protected against overload and short circuit."*
 - C.5.3 *"The operating instructions shall document which propulsion settings and generator combinations are admissible after failure of one or all of the filters. This shall be verified by means of a THD measurement."*
 - C.5.4 *"Filters shall function properly in all propulsion settings and grid configurations and shall not lead to increases in voltage or current. This shall be verified through measurements during the sea trial."*
- 4) Section 20 - Electrical Equipment
 - A.1.13 *"Electric machines operating in networks containing semiconductor converters shall be designed for the expected harmonics of the system. A sufficient reserve shall be considered for the temperature rise, compared with a sinoidal load."*

- **C.4.3 “In systems with high levels of harmonics, capacitors shall be protected against overloading by the use of series inductors and/or the selection of a higher capacitor voltage rating.”**

Selain diatur oleh Badan Klasifikasi DNV-GL, batas nilai harmonisa total dan individual pada setiap orde juga diatur oleh Badan Klasifikasi ABS yang diatur dalam *Classification Rules ABS Part 4 Chapter 8 Section 2* tentang *Electrical System Design*. Berikut adalah rules ABS yang mengatur mengenai batas nilai harmonisa pada sistem kelistrikan di kapal :

- 7.2.1 Harmonics

"The total harmonic distortion (THD) in the voltage waveform in the distribution systems is not to exceed 8% and any single order harmonics not to exceed 5%. Other higher values may be accepted provided the distribution equipment and consumers are designed to operate at the higher limits.

Batasan nilai THD dan TIHD juga mengacu pada standard yang dikeluarkan oleh IEEE Std 519-2014. Pada standard yang dikeluarkan oleh IEEE ini terdapat 2 kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi harmonisa, yakni batasan untuk harmonisa arus dan batasan untuk harmonisa tegangan. Tabel dibawah ini merupakan standard IEEE yang membatasi nilai dari Distorsi Hamonisa pada tegangan:

Tabel 2.3 Batasan Nilai *Voltage Distortion* Menurut IEEE

Sumber : (IEEE STANDARD ASSOCIATION, 2014)

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69$ kV	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161$ kV	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5 ^a

Tabel dibawah ini merupakan standard IEEE yang membatasi nilai dari Distorsi Hamonisa pada arus:

Tabel 2.4 Batasan Nilai *Current Distortion* Menurut IEEE

Sumber : (IEEE STANDARD ASSOCIATION, 2014)

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

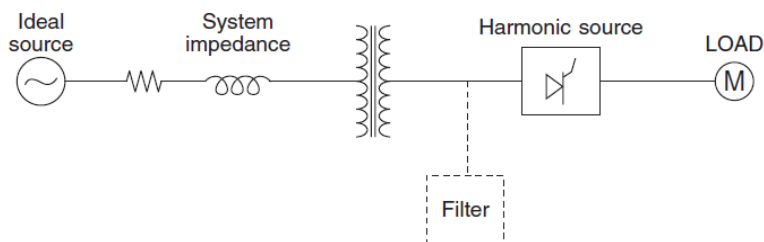
Dimana :

- I_{sc} = Nilai *short-circuit* maksimum pada PCC (*Point of Common Connection*)
- I_{Load} = Nilai *demand load* maksimum dari Frekuensi Fundamental pada BUS

2.12 Filter Harmonisa Pasif

Untuk mengurangi besarnya amplitudo satu atau lebih frekuensi harmonisa tertentu dari tegangan dan arus, dilakukan pemasangan Filter Harmonisa. Pemasangan filter ini pada sistem listrik berfungsi untuk meredam perambatan arus harmonisa ke seluruh jaringan. Selain itu pemasangan filter juga dapat memberikan kompensasi daya reaktif pada frekuensi fundamental, sehingga terjadi perbaikan faktor daya pada sistem (Arifin, Pujiantara, & Mustofa, 2014). Filter harmonisa umumnya diletakkan dekat dengan komponen sumber dari harmonisa itu sendiri.

Gambar 2.11 dibawah ini adalah contoh skematik peletakan filter pada sistem kelistrikan :



Gambar 2.11 Peletakan Filter Harmonisa Pasif pada Tipikal Sistem Distribusi
Sumber : (Kusko & T.Thompson, 2007)

Filter harmonisa pasif merupakan kombinasi dari komponen Induktor dan Kapasitor yang dirancang untuk beresonansi pada frekuensi tertentu yang disebut dengan frekuensi resonansi, sehingga apabila frekuensi harmonisa ada yang sama dengan frekuensi resonansi maka filter pasif akan menyerap harmonisa tersebut. (Sumarno, Penangsang, & Aryani, 2016). Filter pasif telah banyak digunakan untuk mengurangi harmonisa arus pada sistem distribusi. Filter ini umumnya dirancang khusus pada frekuensi harmonisa tertentu. Filter pasif ini banyak digunakan pada industri disebabkan oleh beberapa hal berikut ini (Len Su & Hong, 2013):

- pengembangan teknologi filter yang telah matang
- kehandalan dalam operasi
- biaya operasi dan perawatan yang murah

Untuk merancang sebuah filter harmonisa secara manual, dilakukan beberapa perhitungan untuk mendapatkan spesifikasi dari filter yang akan dirancang. Berikut adalah langkah untuk menghitung spesifikasi filter harmonisa:

- 1) Melakukan perhitungan nilai kVar Kapasitor, berikut adalah rumus perhitungannya :

$$kVar = \frac{Vu^2}{Xc}$$

Untuk memperoleh nilai Kvar, μF dan Induktor, sebelumnya dilakukan simulasi *Load Flow* terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai Power Factor dan nilai *Load MVA*.

- 2) Menghitung nilai Kapasitansi Kapasitor berikut adalah rumus perhitungannya :

$$C = \frac{kVar}{\omega_0 \times V_{LL}^2}$$

- 3) Menghitung Nilai Induktansi L berikut adalah rumus perhitungannya :

$$\omega_n L = \frac{1}{\omega_n C}$$

- 4) Menghitung Nilai XL, berikut adalah rumus perhitungannya :

$$X_L = \omega_0 L$$

- 5) Menentukan nilai kualitas filter Q, nilai kualitas filter ini memiliki rentang antara 30 - 60 (Arifin, Pujiantara, & Mustofa, 2014). Berikut adalah rumus perhitungannya:

$$Q = \frac{X_0}{R}$$

- 6) Menghitung Nilai R, nilai R ini merupakan nilai tahanan pada filter. Berikut adalah perhitungannya:

$$R = \frac{X_L}{Q}$$

Dalam perancangan filter harmonisa pasif, membutuhkan beberapa pertimbangan teknis. Berikut adalah pertimbangan yang digunakan dalam perancangan filter harmonisa pasif ini (Alexander Kusko, 2007):

- *Tuning* : Filter harmonisa diatur berada pada frekuensi dibawah frekuensi orde yang akan difilter untuk mencegah terjadinya kenaikan nilai harmonisa ketika satu atau lebih kapasitor gagal. Umumnya pada harmonisa di orde ke 5 filter diatur pada frekuensi di orde 4.85, pada orde ke 7 filter diatur pada frekuensi di orde ke 6.7.
- Proteksi : Kapasitor memiliki proteksi berupa *fuse* yang disusun dalam grup kecil untuk meminimalisir meledaknya *fuse*.
- *Switching* : Bagian dari filter dapat di non-aktifkan pada saat pengoperasian beban ringan untuk membatasi kelebihan tegangan
- Toleransi : Kapasitor dan Induktor harus diatur agar kombinasi dari nilai L dan C tidak menghasilkan resonansi pada frekuensi.
- Rating : Nilai arus pada induktor dan nilai tegangan pada kapasitor harus menyertakan komponen harmonisa dan komponen *fundamental-nya*
- Lokasi : Filter harus diletakkan pada sistem kelistrikan dekat dengan beban non linear yang menghasilkan harmonisa.

2.13 Simulasi Harmonisa dan Perancangan Filter Harmonisa dengan Software Simulasi

Simulasi harmonisa pada penulisan ini menggunakan *software* permodelan dan penggambaran tentang sistem kelistrikan pada industri maupun suatu wilayah. *Software* ini dapat melakukan berbagai analisa sistem kelistrikan, seperti:

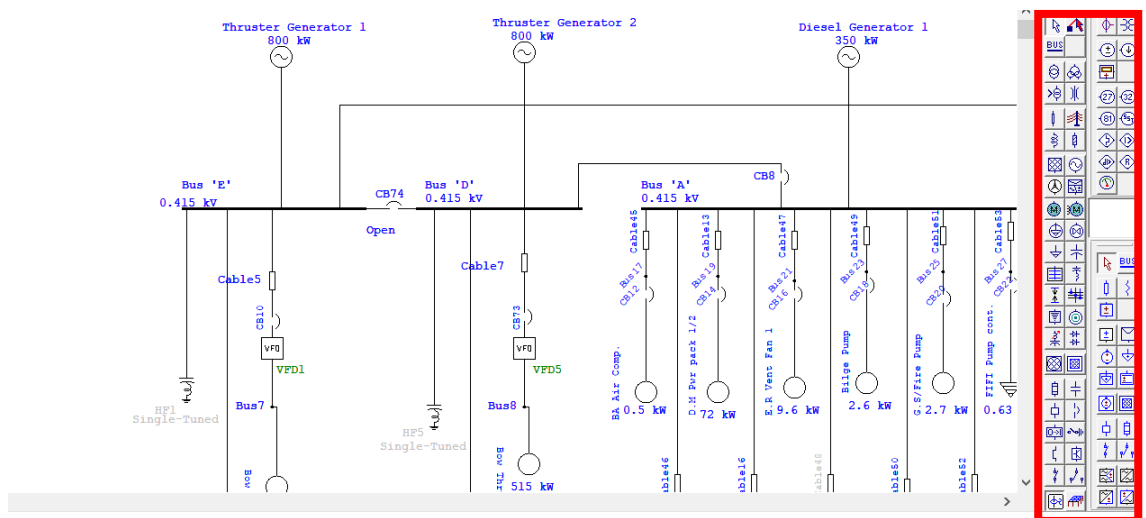
- a) *Load Flow Analysis*
- b) *Unbalanced Load Flow Analysis*
- c) *Short Circuit Analysis*
- d) *Motor Acceleration Analysis*
- e) *Harmonic Analysis*
- f) *Transient Analysis*

Dalam mencapai tujuan dari tugas akhir ini, akan digunakan metode *harmonic analysis* untuk dapat menghasilkan grafik gelombang sinusoidal dengan gelombang harmonisa yang ditimbulkan dari sistem kelistrikan *thruster* kapal dengan Sistem *Dynamic Positioning*. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan simulasi harmonisa pada *software* simulasi:

1. Melakukan penggambaran *Single Line Diagram* pada lembar kerja *software* simulasi.

Untuk melakukan penggambaran diagram ini, digunakan menu *edit* dengan menaruh komponen sistem kelistrikan pada sebelah kanan lembar kerja yang diberi simbol sesuai dengan simbol komponen tersebut pada lembar kerja. Selain melakukan penggambaran, semua komponen dalam sistem juga diberi masukan data berupa spesifikasi teknis dari komponen tersebut sesuai dengan *single line diagram* pada data kapal.

Gambar 2.12 dibawah ini menunjukkan kolom komponen peralatan kelistrikan yang digunakan untuk penggambaran *single line diagram*:

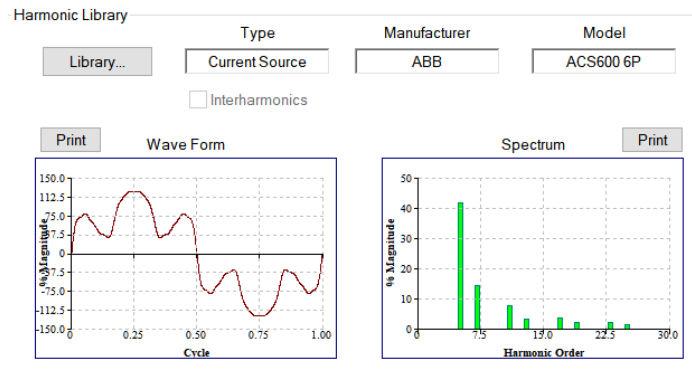


Gambar 2.12 Komponen Kelistrikan yang Digunakan dalam Penggambaran *Single Line Diagram*

2. Mengatur Spesifikasi dari Sumber Harmonisa

Setelah dilakukan penggambaran diagram kelistrikan dan skenario simulasi, selanjutnya dilakukan penentuan spesifikasi dari komponen yang menghasilkan harmonisa yakni *Variable Frequency Drive* sebagai sumber beban non-linear terbesar yang berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran motor bow thruster. Untuk menentukan spesifikasi dari VFD ini digunakan menu *harmonic library* pada VFD.

Gambar 2.13 dibawah ini menunjukkan tampilan menu harmonic library pada software simulasi:



Gambar 2.13 Menu *Harmonic Library* pada peralatan VFD

3. Membuat Skenario dari Sistem Kelistrikan pada Lembar Kerja.

Sebelum melakukan simulasi, beberapa komponen utama pada sistem kelistrikan yang akan dianalisa diberikan masukan skenario yang divariasikan berdasarkan konfigurasi generator dan variasi daya thruster dalam simulasi. Untuk membuat skenario ini digunakan menu briefcase pada bagian atas lembar kerja.

Gambar 2.14 dibawah ini menunjukkan menu briefcase yang digunakan dalam penamaan skenario dan variasi pada simulasi:



Gambar 2.14 Menu *Briefcase* pada simulasi *harmonisa*

4. Melakukan Simulasi Harmonisa pada *software* simulasi.

Selanjutnya dilakukan analisa *harmonic load flow* pada setiap orde harmonisa. Sebelum berpindah ke simulasi orde berikutnya, terlebih dahulu data nilai distorsi harmonisa yang diberikan disimpan sebagai referensi untuk perancangan filter harmonisa pasif.

Gambar 2.15 dibawah ini adalah menu yang digunakan untuk melakukan simulasi Harmonic Load Flow Analysis:



Gambar 2.15 Menu untuk melakukan simulasi harmonisa

Setelah dilakukan simulasi harmonisa dan diperoleh nilai distorsi harmonisa pada sistem, selanjutnya dilakukan perbaikan dengan pemasangan filter harmonisa pasif pada busbar yang terhubung dengan sumber harmonisa. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan Perancangan Filter Harmonisa Pasif pada *software* simulasi:

1. Melakukan Pemasangan Filter Harmonisa Pasif

Setelah diperoleh nilai distorsi harmonisa individual pada orde harmonisa dengan nilai terbesar, selanjutnya dilakukan pemasangan komponen filter harmonisa pasif pada busbar yang terhubung dengan sumber harmonisa yakni *Variable Frequency Drive*. Pemasangan komponen filter ini dilakukan pada menu *edit* dengan simbol komponen seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.16 Simbol Komponen Filter Harmonisa Pasif untuk Penggambaran di SLD

2. Menentukan Spesifikasi Filter Harmonisa Pasif

Untuk dapat meredam nilai harmonisa terlebih dahulu harus dilakukan pengaturan filter harmonisa pasif dengan memasukkan beberapa data-data untuk memperoleh spesifikasi filter harmonisa pasif yang sesuai dengan hasil simulasi. Sebelum memasukkan spesifikasi filter, terlebih dahulu dipilih tipe filter yang akan digunakan, yakni tipe *Single-Tuned Filter*. Gambar dibawah ini adalah parameter yang dibutuhkan sebagai data untuk mendapatkan spesifikasi filter yang sesuai:

Gambar 2.17 Menu Parameter untuk Memperoleh Spesifikasi Filter Harmonisa

Adapun penjelasan data-data yang dibutuhkan dalam penentuan ukuran filter adalah sebagai berikut:

- a. *Harmonic Order*, Data ini merupakan data nilai *tuning order* dari distorsi harmonisa pada orde harmonisa terbesar yang akan diredam oleh filter tersebut. Untuk nilai *harmonic order* ini digunakan data *tuning order* dibawah ini (Cho & Cha, 2011):

Order	5th	7th	9th	11th
Tuning	4.813	6.734	8.663	10.59
Order	13th	15th	17th	19th
Tuning	12.51	14.44	16.36	18.29

Gambar 2.18 *Tuning Order* dalam perancangan Filter Harmonisa Pasif

- b. *Harmonic Current*, Pada kolom ini diisikan data nilai harmonisa arus yang terdapat pada kabel yang terhubung dengan *variable frequency drive*. Nilai harmonisa arus ini diperoleh pada saat dilakukan pada simulasi *harmonic analysis*.
- c. *PF Correction*, filter harmonisa pasif terdiri dari rangkaian induktor, resistor dan kapasitor sehingga selain dapat meredam nilai harmonisa pada sistem, filter harmonisa pasif juga dapat digunakan untuk memperbaiki nilai *power factor*. Untuk memperoleh nilai *existing pf* didapatkan dari simulasi *load flow analysis*.
- d. *Load MVA*, pada data ini diisikan nilai daya pada kabel yang menghubungkan *variable frequency drive* dengan busbar. Nilai *load MVA* tersebut diperoleh dari hasil simulasi *load flow analysis*.
- e. *Q Factor*, selain 4 data diatas dibutuhkan 1 nilai lagi yang berfungsi sebagai nilai untuk menentukan ketajaman kemampuan dari filter untuk meredam orde yang telah atur pada data *harmonic order* diatas. Nilai *Q Factor* umumnya berkisar antara 30 - 60 (Cho & Cha, 2011).

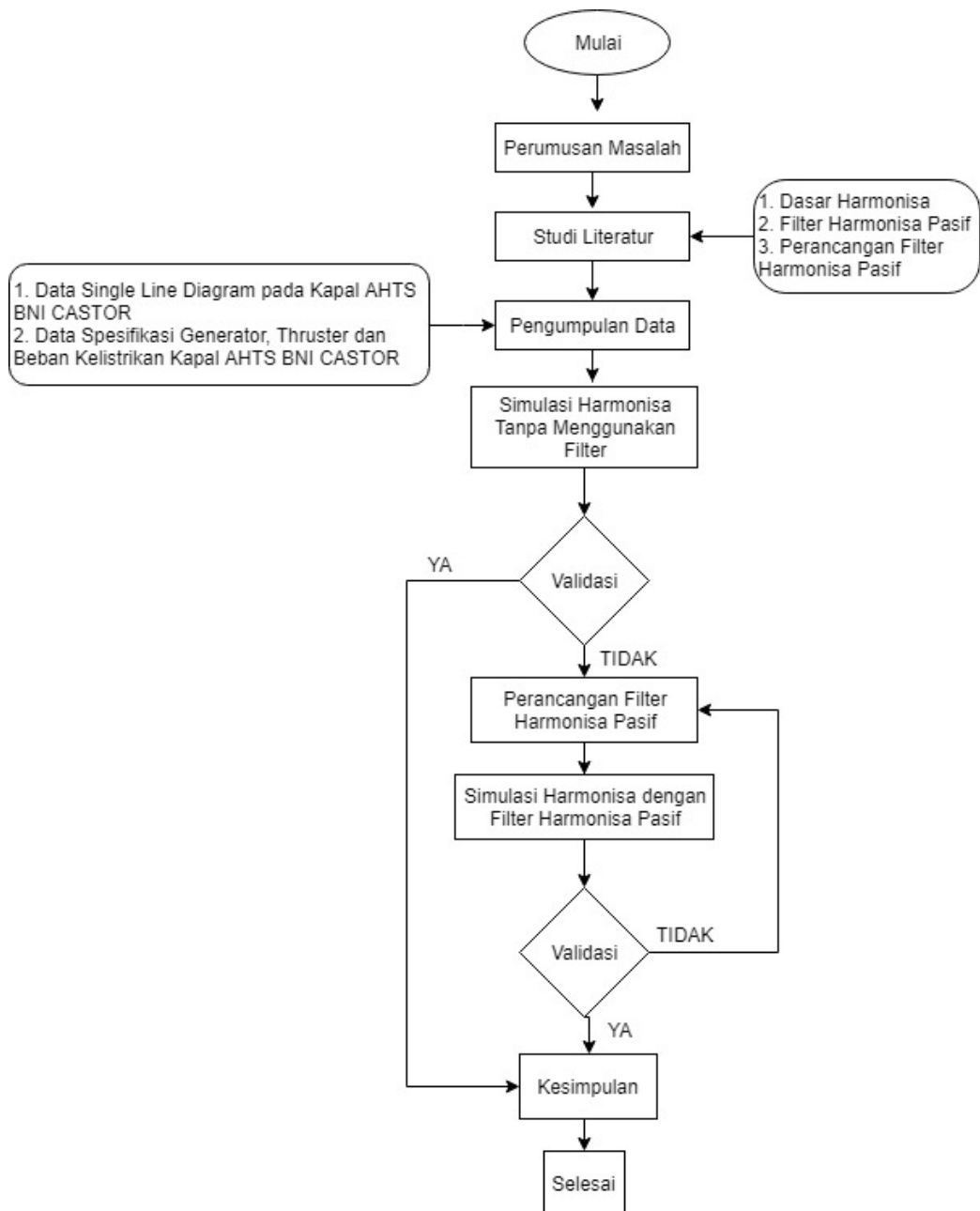
Gambar dibawah ini menunjukkan perbandingan kemampuan penyerapan filter pada orde ke-5 dan ke-7.

Filter	Q ₅ (%)	Q ₁₀ (%)	Q ₃₀ (%)	Q ₅₀ (%)	Q ₇₀ (%)	Q ₁₀₀ (%)
5th	28.6	51.2	87.28	94.48	97.98	98.66
7th	38.54	64.12	92.90	97.98	98.58	99.38

Gambar 2.19 Perbandingan Kemampuan Nilai Qfactor

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB III METODE PENELITIAN



Gambar 3.1 Flow Chart Metodologi Penelitian

3.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pelaksanaan tugas akhir. Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, dimana pada tahap inilah mengapa suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam tugas akhir. Pencarian masalah dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada kapal dengan sistem *dynamic positioning*. Dari tahap ini juga, tujuan dari tugas akhir ini dapat diketahui. Dalam tugas akhir ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah nilai distorsi harmonik, dampak serta perancangan filter untuk mengurangi besarnya nilai distorsi harmonik pada sistem kelistrikan *thruster* kapal AHTS BNI CASTOR yang menggunakan sistem *Dynamic Positioning*.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur adalah tahap untuk mencari referensi teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan perancangan sistem serta dapat menjadi acuan dalam pengerjaan. Pada tugas akhir ini akan dilakukan simulasi *harmonic flow analysis* atau analisa alir harmonisa pada sistem kelistrikan di kapal BNI Castor untuk mengetahui nilai harmonisa yang terdapat pada sistem kelistrikan kapal. Setelah diperoleh nilai harmonisa pada sistem kelistrikan tersebut, selanjutnya dilakukan perancangan filter harmonisa pasif pada hasil simulasi yang memiliki nilai diatas standard IEEE. Refrensi pada tugas akhir ini mengacu pada paper dan jurnal mengenai gangguan harmonisa pada sistem kelistrikan kapal, perancangan harmonisa pasif, serta penelitian mengenai gangguan harmonisa dengan simulasi.

3.3 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data berupa informasi-informasi sebagai berikut:

1. Data Single Line Diagram dari Sistem Kelistrikan *Thruster* AHTS BNI CASTOR
2. Data Operasional *Thruster* AHTS BNI CASTOR pada Saat Menggunakan Sistem *Dynamic Positioning*
3. Data Wiring Diagram dari Sistem Kelistrikan *Thruster* AHTS BNI CASTOR
4. Data Spesifikasi Komponen Kelistrikan Sistem *Thruster* pada Kapal AHTS BNI CASTOR
5. Data standard IEEE dan *classification rules* ABS

3.4 Simulasi Harmonik dan Analisa Data Tanpa Menggunakan Filter

Pada tahap ini dilakukan penggambaran ulang sistem kelistrikan kapal AHTS BNI CASTOR, selain itu data besarnya daya yang dihasilkan dan digunakan pada mode operasi juga di masukkan sebelum dilakukannya simulasi. Selanjutnya dilakukan simulasi untuk memperoleh data aliran harmonisa pada sistem kelistrikan Kapal AHTS BNI CASTOR untuk mengetahui seberapa besar nilai harmonisa dan total distorsi harmonisa yang terjadi pada sistem kelistrikan kapal. Data yang dihasilkan akan menjadi acuan dalam perancangan Filter Harmonik Pasif.

3.6 Validasi I

Pada tahap ini akan dianalisa dari mode operasional DP, pada kondisi manakah akan dihasilkan harmonisa terbesar yang melebihi standard. Pada mode yang memiliki

nilai harmonisa dibawah batasan standard, tidak akan dilakukan perancangan filter harmonisa melainkan langsung menuju ke kesimpulan sedangkan pada mode dimana terdapat nilai harmonisa diatas batasan standard, akan dilakukan perancangan filter harmonisa pasif untuk mengurangi nilai harmonisa tersebut.

3.7 Perancangan Filter Harmonisa Pasif

Setelah memperoleh hasil simulasi, menentukan spesifikasi sumber harmonik arus dari sumber beban yang non-linear. Selanjutnya dilakukan load flow analysis untuk setiap urutan harmonik. Terakhir ialah mengumpulkan data distorsi harmonik dari setiap urutan harmonik. Pada tahap perancangan ini filter pasif hanya dirancang untuk urutan harmonik tertentu. Dalam perancangan ini nantinya akan dilakukan tipe filter, ukuran untuk urutan harmonik yang dibutuhkan lalu untuk menghitung kapasitor dan induktor akan dilakukan oleh *software* simulasi.

3.8 Simulasi Harmonik dan Analisa dengan Menggunakan Filter Harmonisa Pasif

Selanjutnya setelah merancang dan menemukan ukuran dan jenis filter berdasarkan data simulasi awal, selanjutnya dilakukan simulasi kembali dengan penambahan filter harmonik pasif pada sistem kelistrikan. Hal ini dilakukan untuk melihat apakah hasil perancangan filter harmonik pasif tersebut dapat mengurangi harmonik dan distorsi untuk nantinya dibandingkan dengan hasil simulasi sebelumnya.

3.9 Validasi II

Pada tahap ini akan dianalisa apakah hasil perancangan filter harmonisa pasif ini dapat menurunkan harmonik dan distortion sesuai dengan rules dan standard yang ada. Bila hasil simulasi dengan filter yang dirancang sebelumnya masih berada diatas batas standard, maka akan dilakukan perancangan filter harmonisa kembali hingga memperoleh nilai dibawah standard.

3.10 Kesimpulan

Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan keseluruhan proses yang telah dilakukan sebelumnya serta memberikan jawaban atas permasalahan yang ada. Saran-saran diberikan berdasarkan hasil analisis yang dapat dijadikan dasar pada penelitian selanjutnya, baik terkait secara langsung pada penelitian ini ataupun pada data-data dan metodologi yang nantinya akan direferensi.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada penelitian ini digunakan metode simulasi dengan *software* untuk memperoleh nilai distorsi harmonisa total (VTHD) dan nilai distorsi harmonisa setiap orde harmonisa (VIHD) yang timbul akibat beban *non-linear* yang berasal dari pengoperasian 2 unit *bow thruster* saat megoperasikan sistem *dynamic positioning*. Hasil yang diharapkan pada simulasi ini ialah nilai distorsi harmonisa total (VTHD) dan nilai distorsi harmonisa individual (VIHD) pada busbar utama. Nilai VTHD dan VIHD pada hasil simulasi ini dinyatakan dalam satuan Mag (%). Mag (%) sendiri merepresentasikan besarnya perbandingan antara nilai arus/tegangan dengan arus/tegangan fundamentalnya. Pada bab ini akan dianalisa hasil dari simulasi harmonisa di *software* pada 6 macam skenario konfigurasi generator dengan beberapa variabel daya pengoperasian *bow thruster*. Adapun 6 macam skenario konfigurasi tersebut dijelaskan pada tabel dibawah ini:

Skenario	Konfigurasi	Daga Generator (kW)	Beban (kW)
Beban Bow Thruster Saja			
Skenario 1	1 SG = 1 B.T	800	515
Skenario 2	2 SG = 2 B.T	1600	1030
Skenario 3	1 SG = 2 B.T	800	515
Beban Bow Thruster + Kelistrikan			
Skenario 4	1 DG & 2 SG = 2 BT & load	1950	1434.387
Skenario 5	2 DG & 2 SG = 2 BT & load	2300	1434.387
Skenario 6	2 DG & 1 SG = 2 BT & esensial load	1500	1208.887

Gambar 4.1 Skenario Konfigurasi Generator

Selain itu pada bab ini pula akan dilakukan perancangan filter harmonisa pasif pada *software* simulasi untuk mengurangi nilai distorsi harmonisa yang melebihi standard IEEE untuk selanjutnya dilakukan simulasi kembali setelah dilakukan pemasangan filter harmonisa pasif pada busbar yang terhubung dengan sumber harmonisa.

4.2 Pengumpulan Data

Sebelum melakukan simulasi, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data primer kelistrikan Kapal AHTS dengan sistem *dynamic positioning* yang diperoleh dari perusahaan PT.Bahtera Niaga Internasional, yang bergerak dalam bidang penyewaan kapal *offshore supply vessel*. Adapun data-data primer yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

4.2.1. Dimensi Utama Kapal

Kapal yang digunakan sebagai objek penelitian ini adalah kapal dengan sistem *dynamic positioning* dimana terdapat 2 unit *bow thruster* sebagai sumber beban *non-linear* terbesar pada sistem kelistrikan kapal untuk mempertahankan posisi kapal secara

dinamis. Pada penelitian ini, kapal yang digunakan sebagai objek penelitian adalah Kapal AHTS BNI Castor. Kapal dengan tipe *Anchor Handling Tug Supply* ini memiliki fungsi untuk memberikan *supply* kebutuhan pada bangunan lepas pantai, melakukan pekerjaan pemindahan jangkar dan lain sebagainya yang membutuhkan kemampuan mempertahankan arah dan posisi dari kapal. **Gambar 4.1** dibawah ini adalah foto dari Kapal AHTS BNI Castor yang tengah beroperasi:



Gambar 4.2 Kapal BNI Castor
Sumber : (Vessel Finder, 2018)

Kapal BNI Castor ini diklasifikasikan sebagai kapal yang memiliki sistem *DP Class 1* dengan 2 unit *bow thruster* untuk memberikan dorongan saat kapal mempertahankan posisi-nya. Kapal yang selesai dibangun pada tahun 2013 ini memiliki panjang 59 meter dan dilengkapi dengan 2 unit *shaft generator* dan 2 unit *diesel generator*. Tabel dibawah ini menunjukkan dimensi utama dari Kapal BNI Castor:

Tabel 4.1 Dimensi Utama Kapal BNI Castor
Sumber : (Data Perusahaan PT. BNI)

Dimensi Utama Kapal BNI Castor	
L.O.A	59.250 m
L.W.L	56 m
L.P.P	52.2 m
<i>Beam Moulded</i>	14.950 m
<i>Depth Moulded</i>	6.1 m
<i>Draft</i>	4.950 m
<i>Flag</i>	Malaysia
<i>DP Equipment Class</i>	<i>DP Class 1</i>
<i>Classification</i>	<i>ABS</i>

4.2.2. Spesifikasi *Thruster Motor*

Bow Thruster yang terdapat pada Kapal AHTS BNI Castor ini digerakkan oleh motor listrik. Motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan *bow thruster* ini merupakan sumber terbesar gelombang harmonisa dikarenakan pengoperasian *thruster* yang tidak linear dan terdapat *Variable Frequency Drive* untuk pengaturan kecepatan putaran motor yang merupakan sumber utama penghasil gelombang harmonisa.

Pada Kapal BNI Castor ini digunakan motor dengan tipe Motor Induksi 3-fase dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4.2 Spesifikasi Motor pada *Bow Thruster* Kapal BNI Castor
Sumber : (Data Perusahaan PT. BNI)

Spesifikasi <i>Bow Thruster Motor</i>	
Maker	ABB Shanghai Motor co.ltd
Tipe	KT-72 B3
Jenis Motor	Motor Induksi 3 Fase
<i>Propeller Speed</i>	475 rpm
<i>Input Shaft Speed</i>	1450 rpm
<i>Rated Power</i>	515 kw
Frekuensi	50 hz
Tegangan	415 volt

Pada Kapal BNI Castor ini digunakan *Variable Frequency Drive* untuk dapat mengatur kecepatan pada motor 3 fasa yang digunakan sebagai penggerak untuk *bow thruster*. Pengaturan kecepatan dengan VFD ini dilakukan dengan mengatur frekuensi dari motor untuk dapat mengatur kecepatan putaran motor. Sebelum melakukan simulasi harmonisa, terlebih dahulu menentukan spesifikasi dari VFD tersebut pada menu *harmonic library*. Pada simulasi ini digunakan VFD dengan tipe ACS600 6P yang diproduksi oleh ABB. Gambar dibawah ini menunjukkan menu *harmonic library* pada VFD:



Gambar 4.3 Menu *harmonic library* untuk penentuan spesifikasi VFD

4.2.3. Spesifikasi Generator

Untuk mensuplai kebutuhan listrik dikapal, Kapal BNI Castor dilengkapi dengan 2 unit *diesel generator* dan 2 unit *Shaft generator*. *Shaft Generator* dengan generator utama ini dipisahkan oleh bus namun memiliki sambungan antara kedua bus tersebut. Untuk kebutuhan daya-daya di kapal yang jumlahnya besar, maka daya akan disuplai oleh generator utama.

Tabel dibawah ini merupakan data spesifikasi dari 2 unit *diesel generator* yang terdapat pada Kapal BNI Castor:

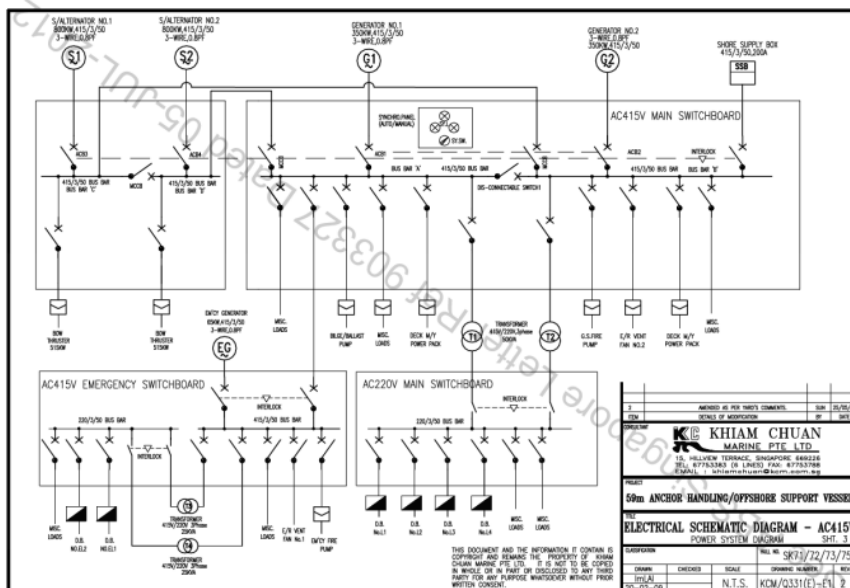
Tabel 4.3 Spesifikasi *Diesel Generator* Kapal BNI Castor
Sumber : (Data Perusahaan PT. BNI)

Spesifikasi <i>Main Generator</i>	
Maker	Leroy Somer
Tipe	ARCB 592
Putaran	1500 rpm
<i>Power Factor</i>	0.8
<i>Rated Power</i>	350 kw
Frekuensi	50 hz
Tegangan Output	415 Volt
KVA	438 kVa

4.2.4. *Single Line Diagram* Kapal

Untuk dapat melakukan simulasi pada *software* Simulasi, maka salah satu data paling penting yang dibutuhkan adalah data *Single Line Diagram* pada sistem kelistrikan kapal. *Single Line Diagram* sendiri merupakan skematik kelistrikan dari sistem kelistrikan kapal yang menunjukkan komponen-komponen apa saja yang terhubung pada salah satu bus, berapa besar spesifikasi daya tiap komponen dan lain sebagainya.

Gambar 4.2 dibawah ini adalah skematik keseluruhan dari *Single Line Diagram* pada sistem kelistrikan Kapal BNI Castor

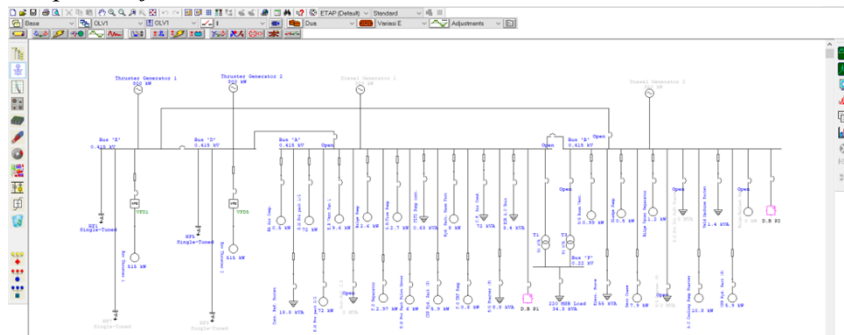


Gambar 4.4 Data Perusahaan *Single Line Diagram* Kapal BNI Castor
Sumber : (Data Perusahaan PT. BNI)

4.3 Penggambaran *Single Line Diagram* pada Software Simulasi

Sebelum melakukan simulasi, terlebih dahulu dilakukan penggambaran *single line diagram* sistem kelistrikan Kapal BNI Castor pada lembar penggambaran *software* Simulasi. Dalam melakukan penggambaran *single line diagram* dibutuhkan data-data berupa spesifikasi generator, *thruster*, ukuran kabel, serta beban-beban dari peralatan yang terhubung dengan sistem kelistrikan di Kapal BNI Castor. Hal pertama yang dilakukan dalam penggambaran *single line diagram* ini ialah dengan meletakkan busbar utama dan generator-generator yang terhubung ke bus tersebut pada menu edit dalam lembar kerja *software* simulasi tersebut.

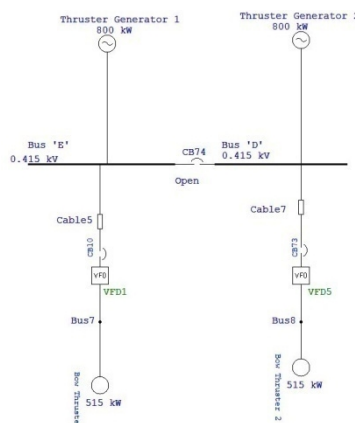
Gambar dibawah ini merupakan hasil penggambaran *single line diagram* Kapal BNI Castor pada *Software* Simulasi :



Gambar 4.5 Hasil Penggambaran Single Line Diagram Kapal BNI Castor pada software

4.4 Analisa Data dan Simulasi Harmonisa pada Skenario 1 : *Open Bus / Split Plant* dengan Konfigurasi 1 *Shaft Generator* untuk beban 1 Unit *Bow Thruster*

Pada konfigurasi Skenario 1 masing-masing *shaft generator* menyuplai kebutuhan listrik untuk 1 unit *bow thruster* saja. Analisa harmonisa dilakukan pada bus tiap *bow thruster* saja dikarenakan *bus-bus* tersebut telah terisolasi dan tidak saling terhubung dengan bus beban kelistrikan di kapal. Gambar dibawah ini adalah penggambaran skenario 1 pada *Software*:

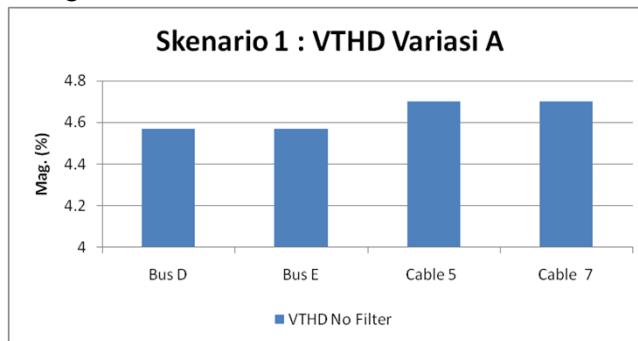


Gambar 4.6 Hasil Penggambaran Skenario 1 pada *software* simulasi

Pada skenario 1 ini dilakukan simulasi dengan 4 variasi pembebanan, berikut adalah analisa hasil simulasi harmonisa pada 4 variasi pembebanan untuk kedua *thruster*:

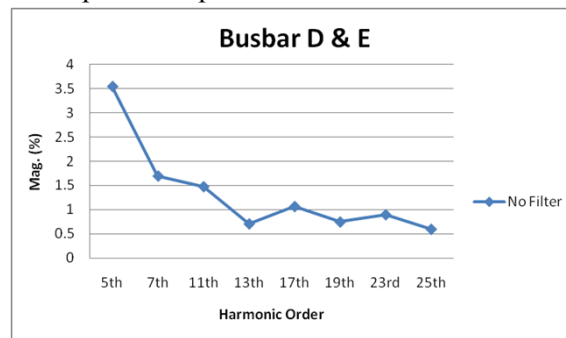
4.4.1. Variasi Beban A, daya kedua *thruster* 20%

Dari simulasi Variasi Beban A dengan daya masing-masing *thruster* 20% dari daya total yang masing-masing disuplai secara terpisah oleh *shaft generator*, diperoleh nilai VTHD atau nilai total distorsi harmonisa sebesar 4.7% pada kabel 7 dan kabel 5 yang menghubungkan antara *Variable Frequency Drive* dengan bus sedangkan pada bus E dan D yang menghubungkan tiap *thruster* dengan *shaft generator* memiliki nilai VTHD sebesar 4.57%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi A dalam konfigurasi skenario 1:



Gambar 4.7 Nilai VTHD Variasi A Skenario 1

Untuk nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* pada Bus D dan E memiliki nilai terbesar pada orde 5 yakni sebesar 3.54%, grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :

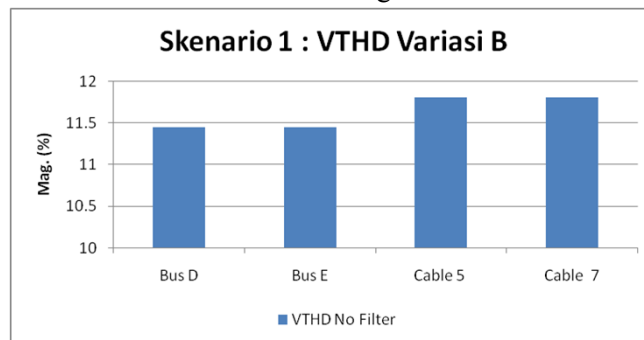


Gambar 4.8 Nilai VIHD Variasi A Skenario 1 Busbar D dan E

Nilai harmonisa yang diperoleh dari hasil simulasi ini menunjukkan bahwa pada saat masing-masing *thruster* dioperasikan dengan daya 20% pada konfigurasi Skenario 1 *Open Bus* nilai distorsi harmonisa total yang dihasilkan berada dibawah batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8% pada nilai *Voltage Total Harmonic Distortion*. Sedangkan nilai harmonisa individual pada setiap orde memiliki nilai dibawah batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 5% pada setiap orde.

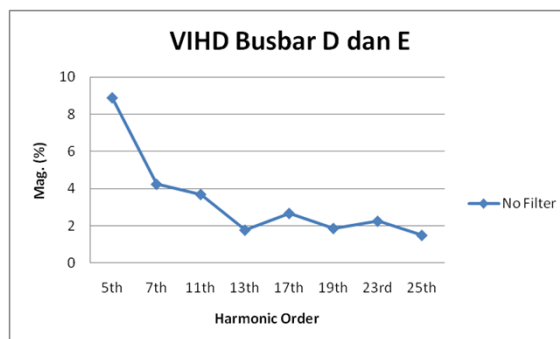
4.4.2. Variasi Beban B, load kedua *thruster* 50%

Pada variasi beban B ini, masing-masing *thruster* disimulasikan beroperasi 50% dari daya maksimum setiap *thruster*, hal ini dilakukan dengan mengubah persentase pembebanan pada menu *nameplate* di *Software*. Dari simulasi dengan beban masing-masing *thruster* 50% ini diperoleh nilai VTHD sebesar 11.45% pada bus D dan bus E yang menghubungkan antara *thruster* dengan *shaft generator* sedangkan untuk VTHD pada *Cable 5 & 7* memiliki nilai sebesar 11.81%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi B dalam konfigurasi skenario 1:



Gambar 4.9 Nilai VTHD Variasi B Skenario 1

Untuk nilai distorsi harmonisa individu atau VIHD pada masing-masing orde harmonisa memiliki nilai terbesar pada orde ke 5 yakni 8.88% pada busbar D dan E. Grafik dibawah ini menunjukkan perbandingan nilai harmonisa individual pada beberapa orde harmonisa di Busbar D dan E:

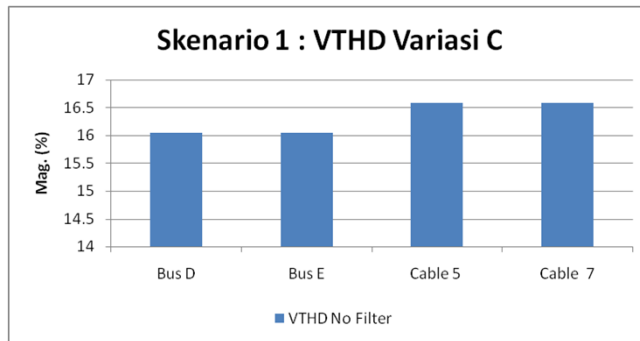


Gambar 4.10 Nilai VIHD Variasi B Skenario 1 Busbar D dan E

Nilai harmonisa yang diperoleh dari hasil simulasi ini menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan daya 50% pada konfigurasi Skenario 1 *Open Bus* nilai distorsi harmonisa total yang dihasilkan berada diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8% sedangkan nilai harmonisa individual pada orde ke-5 melebihi batas yang ditetapkan IEEE dan ABS sebesar 5%. Pada simulasi dengan Variasi B ini diperoleh nilai VTHD dan VIHD yang melebihi standard IEEE dan ABS sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan cara melakukan penambahan filter harmonisa pada sistem.

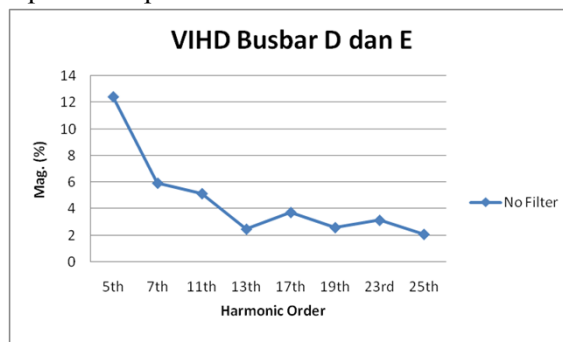
4.4.3. Variasi Beban C, daya kedua *thruster* 70%

Pada variasi beban C persentase pembebanan pada kedua *thruster* disimulasikan beroperasi pada daya 70% dari daya totalnya yakni sebesar 360,5 kW. Dari simulasi dengan konfigurasi skenario 1 dengan pembebanan masing-masing *thruster* 70% ini diperoleh nilai VTHD sebesar 16.05% pada bus D dan bus E serta 16.59% pada kabel 5 dan 7. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi C dalam konfigurasi skenario 1:



Gambar 4.11 Nilai VTHD Variasi C Skenario 1

Sedangkan untuk nilai VIHD atau nilai individual distorsi harmonisa pada variasi pembebanan C didapatkan nilai terbesar pada orde ke 5 sebesar 12.45% yang terdapat pada busbar D dan E. Grafik dibawah ini ini menunjukkan nilai-nilai harmonisa individual pada setiap orde di Busbar D dan E:

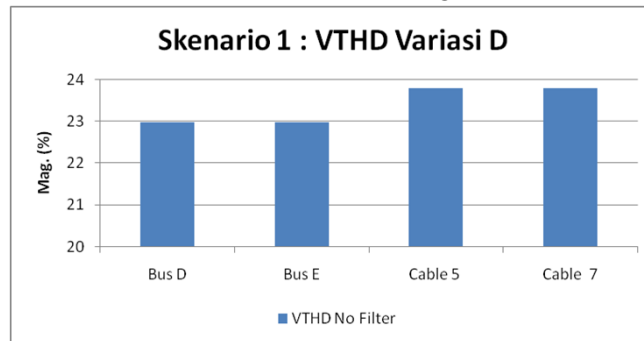


Gambar 4.12 Nilai VIHD Variasi C Skenario 1 Busbar D dan E

Nilai harmonisa yang diperoleh dari hasil simulasi ini menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan daya 70% pada konfigurasi ini, nilai VTHD yang dihasilkan sebesar 16.05%, nilai ini berada jauh diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Sedangkan nilai VIHD pada variasi ini terdapat 3 orde harmonisa yang melebihi batas maksimal IEEE dan ABS yakni sebesar 5%, orde yang melewati batas maksimal tersebut ialah orde 5, 7 dan 11. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa timbul adanya distorsi harmonisa pada sistem dengan nilai yang melebihi standard IEEE dan ABS, sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan cara penambahan filter harmonisa pada sistem.

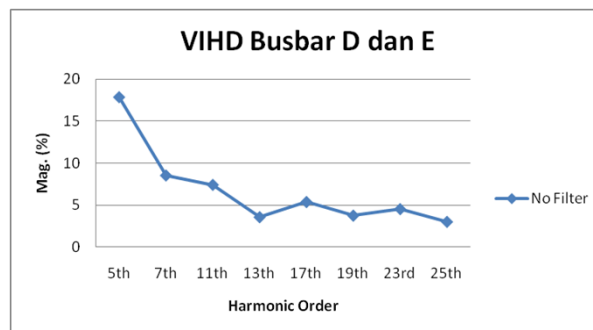
4.4.4. Variasi Beban D, daya kedua *thruster* 100%

Untuk Variasi beban D presentase pembebanan dari kedua *thruster* disimulasikan beroperasi pada daya penuh yakni pada daya 515 kw untuk masing-masing *thruster*. Setelah dilakukan simulasi dengan konfigurasi skenario 1 dengan daya maksimal *thruster* diperoleh nilai VTHD sebesar 22.98 % pada busbar D dan E sedangkan pada Cable 5 & 7 diperoleh nilai VTHD sebesar 23.8%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi D dalam konfigurasi skenario 1:



Gambar 4.13 Nilai VTHD Variasi D Skenario 1

Untuk nilai VIHD atau nilai distorsi harmonisa individual pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 17.83% yang terdapat pada busbar D dan E. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai-nilai harmonisa individual pada setiap orde di Busbar D dan E dalam skenario 1:

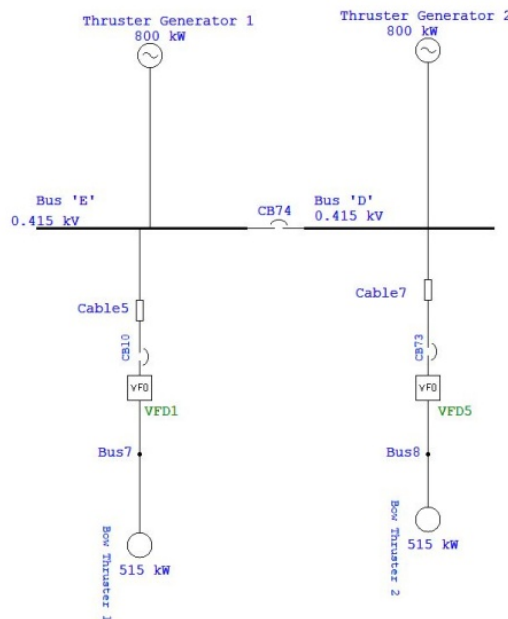


Gambar 4.14 Nilai VIHD Variasi D Skenario 1 Busbar D dan E

Nilai harmonisa yang diperoleh dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan daya 100% pada konfigurasi 1 *Open Bus* nilai distorsi harmonisa yang dihasilkan berada jauh diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Untuk nilai Harmonisa Individual pada masing-masing orde, diperoleh hasil bahwa pada orde ke-5, 7, 11 dan 17 memiliki nilai VIHD diatas batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5%. Nilai VTHD dan VIHD yang diperoleh dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat *bow thruster* dioperasikan pada daya maksimal, maka timbul distorsi harmonisa pada busbar D dan E yang nilainya melebihi standard IEEE dan ABS sehingga dibutuhkan adanya perbaikan yakni dengan menambahkan filter harmonisa pada sistem.

4.5 Analisa Data dan Simulasi Harmonisa pada Skenario 2 : *Closed Bus* dengan Konfigurasi 2 *Shaft Generator* untuk beban 2 Unit *Bow Thruster*

Pada konfigurasi Skenario 2 *closed bus* ini 2 unit *shaft generator* saling terhubung antara bus bar 'D' dan bus bar 'E' melalui sebuah *circuit breaker* untuk kemudian daya disalurkan menuju *bow thruster* 1 dan 2. Analisa harmonisa dilakukan pada masing-masing bus untuk mengetahui besarnya nilai distorsi harmonisa serta pengaruh yang dihasilkan dari diparalelkan-nya 2 unit *shaft generator* terhadap nilai distorsi harmonisa yang dihasilkan akibat penggunaan *bow thruster*. Gambar dibawah ini menunjukkan penggambaran konfigurasi skenario 1 pada *Software Simulasi* :



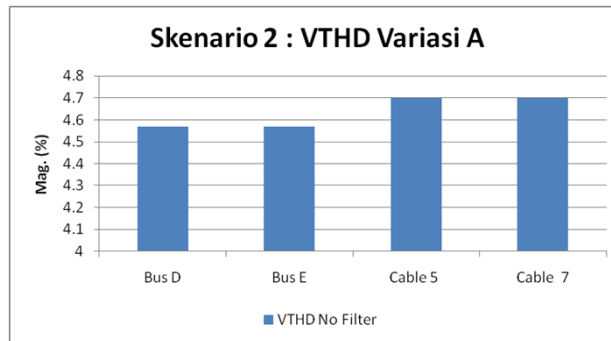
Gambar 4.15 Hasil Penggambaran Skenario 2 pada *Software Simulasi*

Pada skenario 2 ini dilakukan simulasi dengan 5 variasi pengoperasian *thruster* pada beberapa pembebanan, dengan variasi terakhir ialah kedua *thruster* beroperasi pada pembebanan yang berbeda. Berikut adalah analisa hasil simulasi harmonisa pada 4 variasi pembebanan untuk kedua *thruster*:

4.5.1. Variasi Beban A, daya kedua *thruster* pada 20%

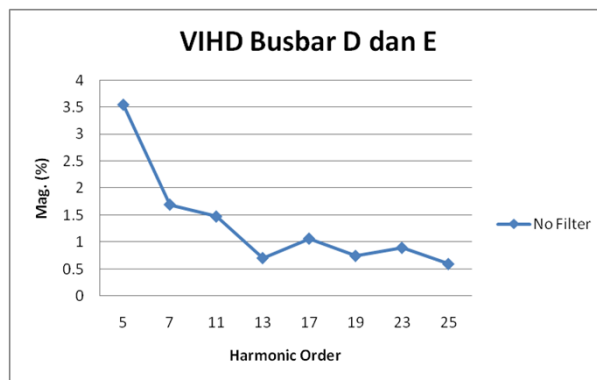
Pada simulasi variasi A kedua unit *thruster* yang saling terhubung pada Busbar D dan E dioperasikan pada daya 20% dari daya total *thruster* yakni sebesar 103 kw masing-masing. Untuk penentuan pengoperasian daya motor ini dilakukan dengan merubah persentasi *rating* pada menu pembebanan di spesifikasi motor *thruster*. Dari hasil simulasi diperoleh nilai VTHD sebesar 4.57% pada Busbar D dan E yang menghubungkan antara *bow thruster* dengan *shaft generator* sedangkan pada *cable 5 & 7* yang menghubungkan *Variable Frequency Drive* dengan Busbar didapatkan nilai harmonisa total sebesar 4.7%.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi D dalam konfigurasi skenario 2:



Gambar 4.16 Nilai VTHD Variasi A Skenario 2

Untuk nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* pada Bus D dan E memiliki nilai terbesar pada orde 5 yakni sebesar 3.54%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D dan E dalam konfigurasi skenario 2:



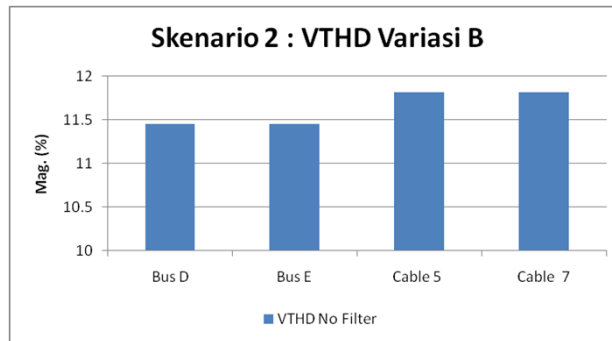
Gambar 4.17 Nilai VIHD Variasi D Skenario 2 Busbar D dan E

Nilai harmonisa yang diperoleh dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat kedua *thruster* dioperasikan dengan daya 20% pada konfigurasi Skenario 2 *Closed Bus* nilai distorsi harmonisa total atau VTHD yang dihasilkan berada dibawah batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8% pada nilai *Voltage Total Harmonic Distortion* sehingga masih memenuhi standard yang ditetapkan. Untuk nilai Harmonisa Individual pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD setiap orde yang berada dibawah batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5%.

4.5.2. Variasi Beban B, *load* kedua *thruster* pada 50%

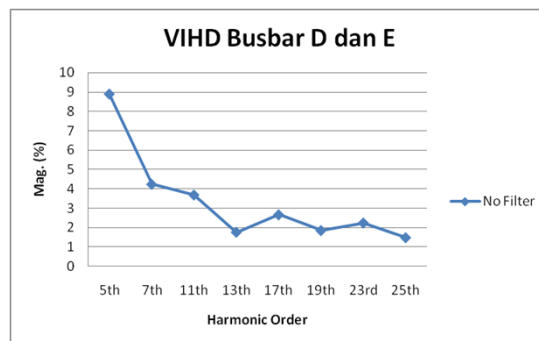
Pada simulasi variasi B dengan konfigurasi skenario 2, kedua unit *thruster* saling terhubung pada Busbar D dan E dengan masing-masing *thruster* dioperasikan pada daya 50% dari daya total. Dari hasil simulasi pada *software*, diperoleh nilai total distorsi harmonisa atau VTHD sebesar 11.45% pada busbar D dan E sedangkan pada *cable 5 & 7* diperoleh nilai total distorsi harmonisa sebesar 11.81%.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi B dalam konfigurasi skenario 2:



Gambar 4.18 Nilai VTHD Variasi B Skenario 2

Dari Hasil simulasi juga diperoleh nilai VIHD pada setiap orde harmonisa. Dari hasil simulasi diperoleh nilai VIHD terbesar terdapat pada harmonisa orde ke-5 sebesar 8.88% yang terdapat pada busbar D dan E, grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D dan E :



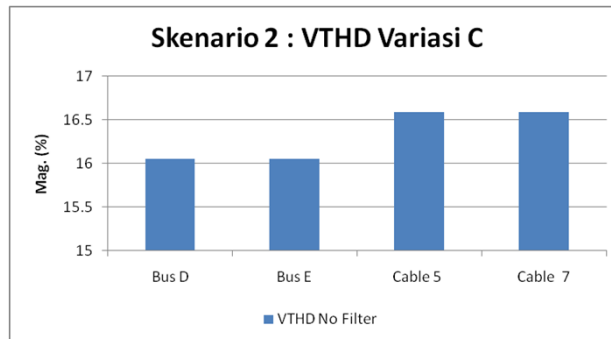
Gambar 4.19 Nilai VIHD Variasi B Skenario 2 Busbar D dan E

Nilai harmonisa yang diperoleh dari hasil simulasi ini menunjukkan bahwa pada saat masing-masing *thruster* dioperasikan pada daya 50% dari daya total dengan konfigurasi Skenario 2 *Closed Bus* nilai total distorsi harmonisa atau VTHD yang dihasilkan sebesar 11.45% berada diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%, sedangkan nilai harmonisa individual pada orde ke-5 diperoleh sebesar 8.88% dimana nilai tersebut juga melebihi batas yang ditetapkan IEEE dan ABS sebesar 5% sehingga pada variasi ini dibutuhkan filter harmonisa untuk meredam nilai distorsi harmonisa total dan individual untuk orde ke-5.

4.5.3. Variasi Beban C, kedua *thruster* bekerja pada load 70%

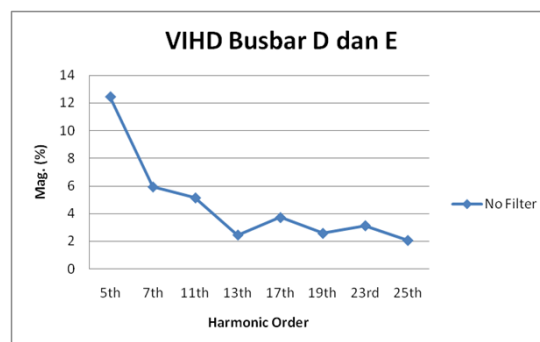
Pada simulasi variasi beban C dengan konfigurasi skenario 2, kedua unit *thruster* saling terhubung pada Busbar D dan E dengan masing-masing *thruster* dioperasikan pada 70% dari daya total. Dari hasil simulasi pada *software*, diperoleh nilai VTHD sebesar 16.05% pada busbar D dan E sedangkan pada *cable 5 & 7* diperoleh nilai total distorsi harmonisa sebesar 16.59%.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi C dalam konfigurasi skenario 2:



Gambar 4.20 Nilai VTHD Variasi C Skenario 2

Dari hasil simulasi juga diperoleh nilai VIHD pada setiap orde harmonisa. Dari hasil simulasi diperoleh nilai VIHD terbesar terdapat pada harmonisa orde ke-5 sebesar 12.45% yang terdapat pada busbar D dan E, grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D dan E :



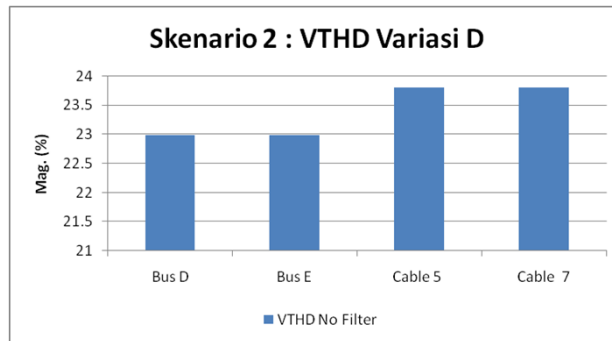
Gambar 4.21 Nilai VIHD Variasi B Skenario 2 Busbar D dan E

Nilai harmonisa yang diperoleh dari hasil simulasi ini menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan daya 70% pada konfigurasi Skenario 2 *Closed Bus* nilai VTHD yang dihasilkan sebesar 16.05%, nilai ini berada jauh diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Sedangkan nilai VIHD variasi daya C ini terdapat 3 orde harmonisa yang melebihi batas maksimal IEEE dan ABS yakni sebesar 5%, orde yang melewati batas maksimal tersebut ialah orde 5, 7 dan 11 sehingga pada variasi ini perlu dilakukan perbaikan dengan pemasangan filter harmonisa pasif khususnya filter harmonisa untuk orde ke-5.

4.5.4. Variasi Beban D, kedua *thruster* bekerja pada *load* 100%

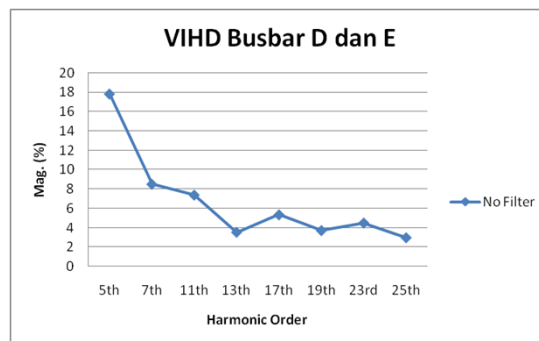
Untuk variasi beban D pada konfigurasi skenario 2, daya kedua *thruster* disimulasikan bekerja pada daya penuh yakni sebesar 515 kW yang disuplai oleh *shaft generator* 1 dan 2 melalui busbar D dan E. Dari hasil simulasi pada *software* diperoleh nilai total distorsi harmonisa atau nilai VTHD pada busbar D dan E bernilai sebesar 22.98% serta pada kabel 5 dan 7 memiliki nilai VTHD sebesar 23.8%.

Grafik dibawah menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi D dalam konfigurasi skenario 2:



Gambar 4.22 Nilai VTHD Variasi D Skenario 2

Dari hasil simulasi diperoleh nilai VIHD pada masing-masing orde dan pada busbar D dan E diperoleh nilai VIHD terbesar di orde ke 5 yakni sebesar 17.83%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai-nilai harmonisa individual pada setiap orde di Busbar D dan E dalam skenario 2:



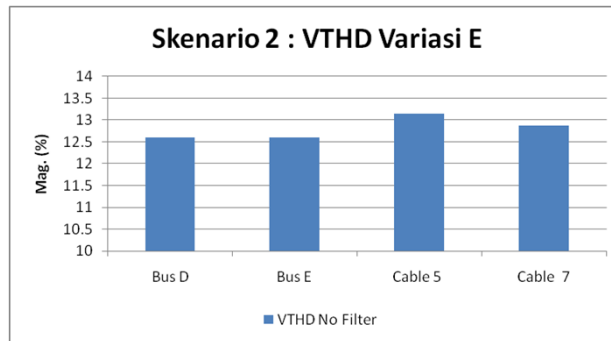
Gambar 4.23 Nilai VIHD Variasi D Skenario 2 Busbar D dan E

Nilai harmonisa yang diperoleh dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan daya 100% atau daya maksimum dari spesifikasi *thruster* pada konfigurasi Skenario 2 *Closed Bus* nilai VTHD yang dihasilkan sebesar 22.98%, nilai ini berada jauh diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Sedangkan untuk nilai harmonisa individual, terdapat 4 orde harmonisa yang melebihi batas maksimal IEEE dan ABS yakni sebesar 5%, orde yang melewati batas maksimal tersebut ialah orde 5, 7, 11 dan 17 sehingga pada variasi ini membutuhkan perbaikan dengan penambahan filter harmonisa pasif untuk orde ke-5 dan orde ke-7.

4.5.5. Variasi Beban E, *thruster* 1 bekerja pada daya 70% dan *thruster* 2 pada daya 40%

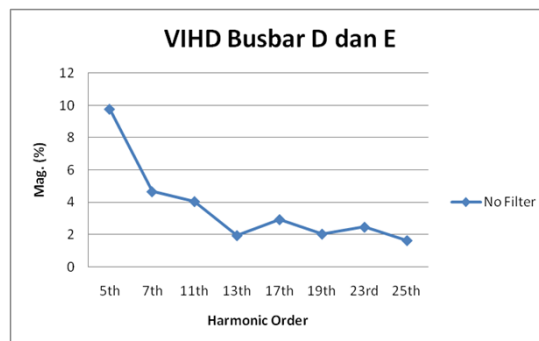
Pada variasi E untuk konfigurasi skenario 2, daya pada kedua *thruster* divariasikan menjadi masing-masing 70% dan 40%. Dari hasil simulasi pada *software* diperoleh nilai total distorsi harmonisa atau nilai VTHD pada busbar D dan E bernilai sebesar 12.6% serta pada kabel 5 dan 7 masing-masing 13.14% dan 12.87%.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi E dalam konfigurasi skenario 2:



Gambar 4.24 Nilai VTHD Variasi E Skenario 2

Untuk nilai VIHD atau nilai harmonisa individual pada masing-masing orde diperoleh hasil bahwa pada busbar D dan E nilai VIHD terbesar berada pada orde ke 5 yakni sebesar 9.78%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai-nilai harmonisa individual pada setiap orde di Busbar D dan E dalam skenario 2:

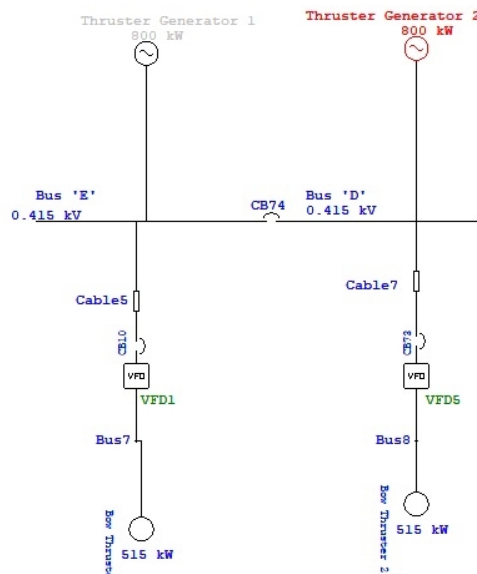


Gambar 4.25 Nilai VIHD Variasi E Skenario 2 Busbar D dan E

Nilai distorsi harmonisa yang diperoleh menunjukkan bahwa pada variasi beban E dimana *thruster* dioperasikan dengan daya 70% dan 40% dari daya maksimal *thruster* dalam konfigurasi Skenario 2 *Closed Bus* diperoleh nilai total distorsi harmonisa atau VTHD sebesar 22.98%, dimana nilai tersebut berada jauh diatas batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni 8% untuk nilai VTHD. Selain itu untuk nilai distorsi harmonisa individual pada variasi beban E, didapatkan bahwa hanya pada orde ke-5 nilai VIHD melebihi batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5% pada setiap orde harmonisa.

4.6 Analisa Data dan Simulasi Harmonisa pada Skenario 3 : *Closed Bus* dengan Konfigurasi 1 *Shaft Generator* untuk beban 2 unit *bow thruster*

Jika pada skenario 2 daya listrik yang digunakan untuk menyuplai 2 unit *bow thruster* disuplai dari 2 unit *shaft generator* yang diparalelkan, maka pada skenario 3 ini daya listrik yang disuplai hanya berasal dari 1 unit *shaft generator* saja. Analisa harmonisa pada skenario ini dilakukan untuk mengetahui nilai distorsi harmonisa baik nilai total maupun nilai tiap orde harmonisa yang ditimbulkan akibat penurunan besarnya margin daya yang disuplai dengan beban yang digunakan. Analisa pada skenario 3 ini dilakukan pada busbar D dan E yang menghubungkan *shaft generator* dengan *bow thruster* dan *Variable Frequency Drive*. Gambar dibawah ini menunjukkan penggambaran konfigurasi skenario 3 pada *Software* simulasi:



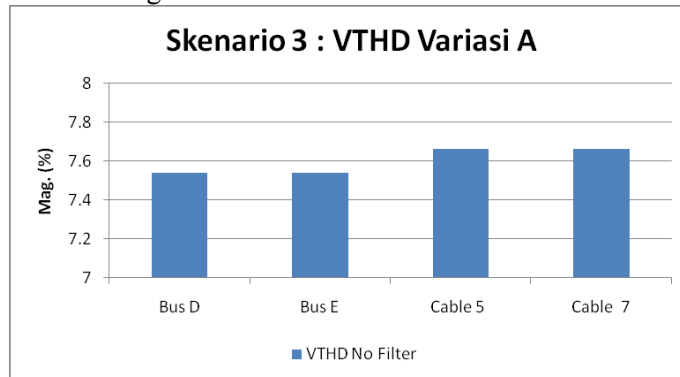
Gambar 4.26 Hasil Penggambaran Skenario 3 pada *Software* Simulasi

Dari gambar skenario 3 diatas dapat dilihat bahwa hanya satu dari dua *shaft generator* yang difungsikan untuk menyuplai daya pada 2 unit *bow thruster*. Pada skenario 3 ini, variasi pengoperasian *thruster* hanya dilakukan pada 2 variasi dikarenakan *shaft generator* mengalami *overload* pada pengoperasian daya diatas 70% daya maksimal setelah dilakukan simulasi *load flow*. Berikut ini adalah analisa hasil simulasi harmonisa pada 2 variasi pembebanan untuk 2 unit *thruster* pada skenario 3:

4.6.1. Variasi Beban A, kedua *bow thruster* pada load 20%

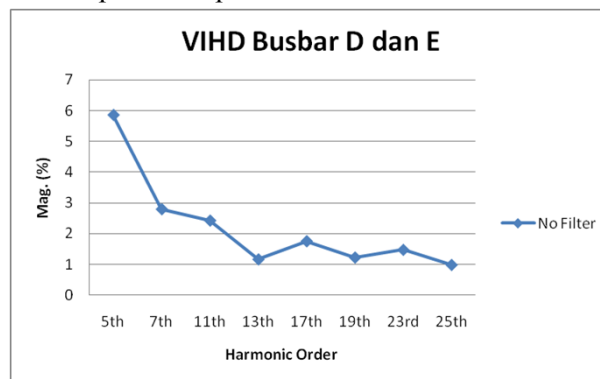
Pada variasi pertama untuk skenario 3 ini adalah dengan mengoperasikan kedua unit *thruster* yang disuplai oleh 2 *shaft generator* pada daya 20% dari daya total daya *thruster* yakni sebesar 206 kW. Setelah dilakukan simulasi diperoleh hasil nilai distorsi harmonisa total (VTHD) dan nilai distorsi harmonisa untuk setiap orde (VIHD). Nilai VTHD yang diperoleh dari hasil simulasi ialah sebesar 7.54% pada busbar D dan E yang menghubungkan kedua *thruster* dengan *shaft generator* sedangkan pada *cable 5* dan *cable 7* menghasilkan nilai harmonisa total sebesar 7.66%.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD yang diperoleh dari hasil simulasi dengan Variasi A dalam konfigurasi skenario 5:



Gambar 4.27 Nilai VTHD Variasi A Skenario 3

Dari hasil simulasi juga diperoleh nilai VIHD yakni nilai distorsi harmonisa di setiap orde harmonisa yang terdapat pada busbar. Nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* pada sistem kelistrikan kapal BNI Castor pada Busbar D dan E memiliki nilai terbesar pada orde ke- 5 yakni sebesar 5.85%, grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :

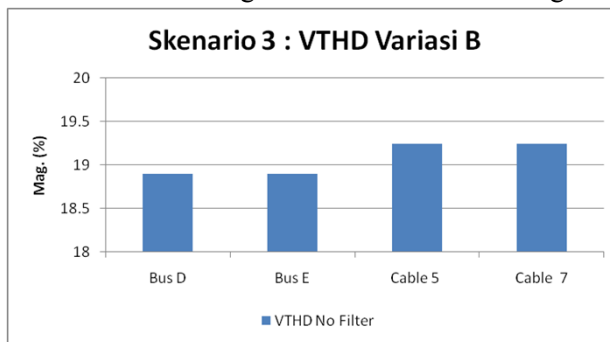


Gambar 4.28 Nilai VIHD Variasi A Skenario 3 Busbar D dan E

Nilai harmonisa yang diperoleh dari hasil simulasi tersebut diatas menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan pada daya 20% dengan konfigurasi Skenario 3 ini, nilai distorsi harmonisa total yang dihasilkan sebesar 7.66%, nilai ini berada jauh diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Nilai harmonisa individual terbesar pada variasi ini terdapat di orde harmonisa ke-5 yang melebihi batas maksimal IEEE dan ABS yakni sebesar 5%. Dari hasil simulasi dimana *thruster* dioperasikan pada daya 20% dengan konfigurasi 1 *shaft* generator untuk 2 *bow thruster* dapat diketahui bahwa timbul adanya distorsi harmonisa baik total maupun individual pada sistem dengan nilai yang melebihi standard IEEE dan ABS, sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan cara penambahan filter harmonisa pada sistem.

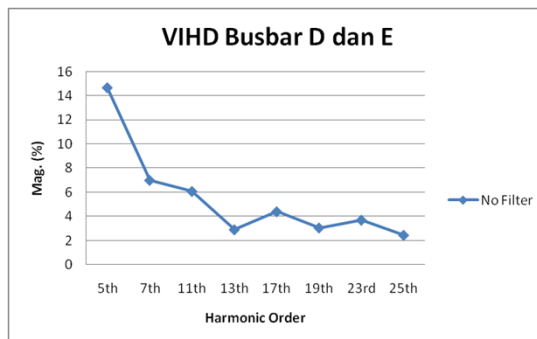
4.6.2. Variasi Beban B, kedua *bow thruster* pada load 50%

Variasi selanjutnya yang dilakukan dalam konfigurasi skenario 3 ini ialah dengan mengoperasikan kedua unit *thruster* yang disuplai oleh 2 *shaft generator* pada daya 50% dari daya total daya *thruster* yakni sebesar 257.5 kW. Dari hasil simulasi diperoleh nilai VTHD dan nilai VIHD untuk setiap orde. Nilai VTHD yang diperoleh dari hasil simulasi ialah sebesar 18.9% pada busbar D dan E. Pada *cable 5* dan *cable 7* diperoleh nilai harmonisa total sebesar 19.24%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD yang diperoleh dari hasil simulasi dengan Variasi B dalam konfigurasi skenario 3:



Gambar 4.29 Nilai VTHD Variasi B Skenario 3

Untuk nilai VIHD pada setiap orde harmonisa diperoleh nilai terbesar pada orde ke-5 sebesar 14.66% yang terdapat pada busbar D dan E. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde yang terdapat di busbar D dan E:

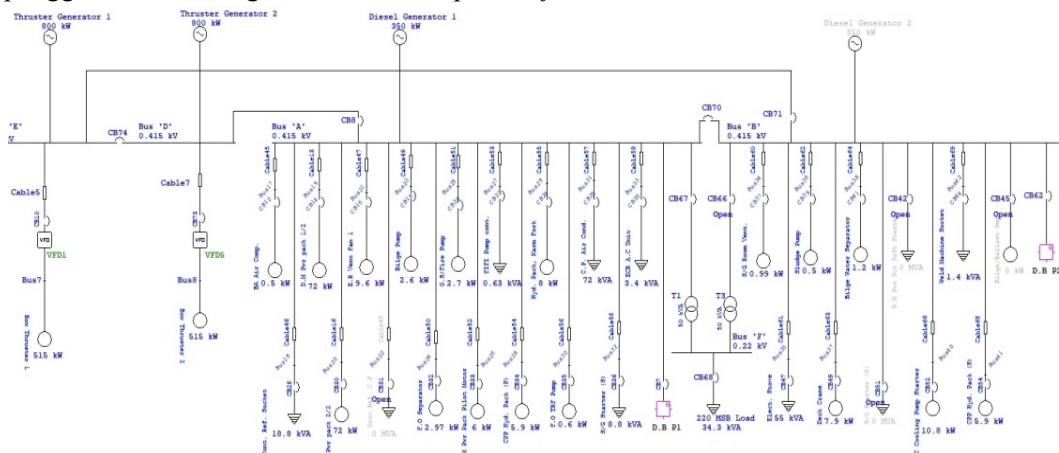


Gambar 4.30 Nilai VIHD Variasi B Skenario 3 Busbar D dan E

Dari data hasil simulasi diatas menunjukkan bahwa nilai VTHD yang dihasilkan pada variasi ini menghasilkan nilai VTHD sebesar 18.99% dimana nilai ini berada jauh diatas batas maksimal VTHD yang diizinkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 8%. Untuk nilai VIHD pada setiap orde diatas menunjukkan bahwa terdapat 3 orde harmonisa yang berada diatas batas maksimal VIHD yang diizinkan oleh IEEE dan ABS yakni terdapat di orde ke-5, ke-7 dan ke-11 pada busbar D dan E. Dari nilai VIHD dan VTHD diatas yang melebihi batas maksimal yang diizinkan, maka dari itu perlu dilakukan adanya perbaikan dengan memasang filter harmonisa pasif orde ke-5 dan 7 pada busbar D dan E.

4.7 Analisa Data dan Simulasi Harmonisa pada Skenario 4 : *Closed Bus* dengan Konfigurasi 2 *Shaft Generator* diparalel dengan 1 *Diesel Generator* untuk Seluruh Beban Listrik

Pada konfigurasi Skenario 4 *closed bus* ini 2 unit *shaft generator* diparalelkan dengan 1 unit *diesel generator* untuk menyuplai seluruh beban kelistrikan di kapal termasuk beban 2 unit *bow thruster*. Analisa harmonisa pada skenario ini dilakukan pada seluruh bus utama yang terhubung dengan beban kelistrikan di kapal untuk mengetahui besarnya nilai total distorsi harmonisa dan nilai individual distorsi harmonisa serta menganalisa pengaruh yang dihasilkan akibat diparalelkan-nya 3 unit generator yang saling terhubung satu sama lainnya. Gambar dibawah ini menunjukkan penggambaran konfigurasi skenario 4 pada *Software*:



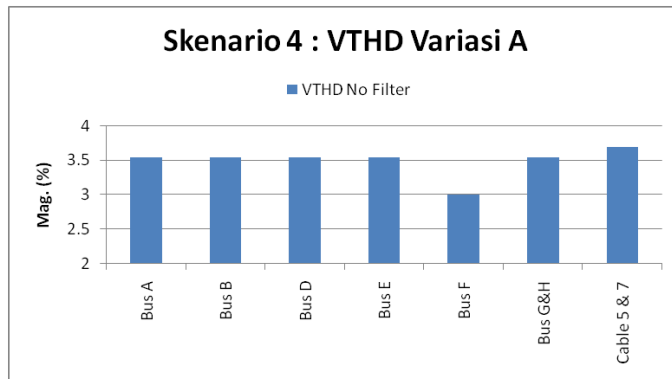
Gambar 4.31 Hasil Penggambaran Skenario 4 pada *Software* Simulasi

Pada skenario 4 ini dilakukan simulasi dengan 5 variasi pengoperasian daya dari 2 unit *bow thruster*, dengan variasi terakhir ialah kedua *thruster* beroperasi pada pembebanan yang berbeda. Berikut adalah analisa hasil simulasi harmonisa pada 5 variasi pembebanan untuk kedua *thruster*:

4.7.1. Variasi Beban A , kedua *bow thruster* pada load 20% dan Beban Listrik Kapal

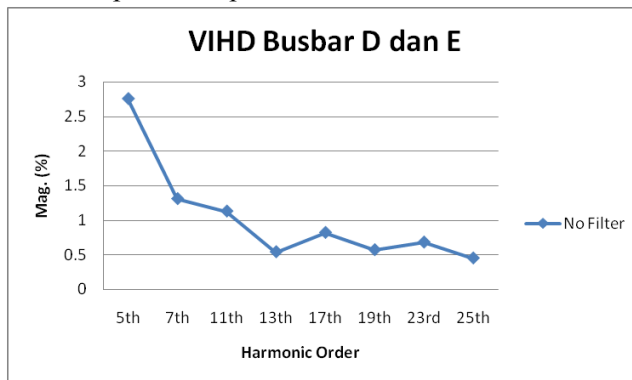
Pada simulasi variasi A, kedua unit *thruster* yang saling terhubung pada Busbar D dan E dioperasikan pada daya 20% dari daya total *thruster* yakni sebesar 103kw masing-masing. Dari hasil simulasi diperoleh nilai VTHD sebesar 3.54% pada Busbar D dan E yang menghubungkan antara *bow thruster* dengan *shaft generator*, untuk busbar A & B yang menghubungkan beban listrik dengan *diesel generator* 1 dan 2 diperoleh nilai VTHD sebesar 3.54%, pada busbar G dan H yang menghubungkan beban pada *distribution panel* dengan busbar A dan B menghasilkan nilai VTHD sebesar 3.54%, sedangkan pada *cable 5 & 7* yang menghubungkan *Variable Frequency Drive* dengan Busbar D & E didapatkan nilai harmonisa total sebesar 3.69%. Pada busbar F yang menghubungkan beban listrik 220V dengan *transformator* 1 & 2 didapatkan nilai VTHD sebesar 3%.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi A dalam konfigurasi skenario 4:



Gambar 4.32 Nilai VTHD Variasi A Skenario 4

Nilai VIHD pada variasi ini memiliki nilai terbesar pada orde ke- 5 yakni sebesar 2.76% yang terdapat pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H. Untuk nilai pada busbar A dan B serta busbar G dan H dapat dilihat pada lembar lampiran. Untuk nilai VIHD pada busbar F yang menghubungkan antara *transformator 1 & 2* dengan beban listrik 220V memiliki nilai VIHD terbesar pada orde 5 yakni sebesar 2.56% yang dapat dilihat pada bagian lampiran dibawah. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :

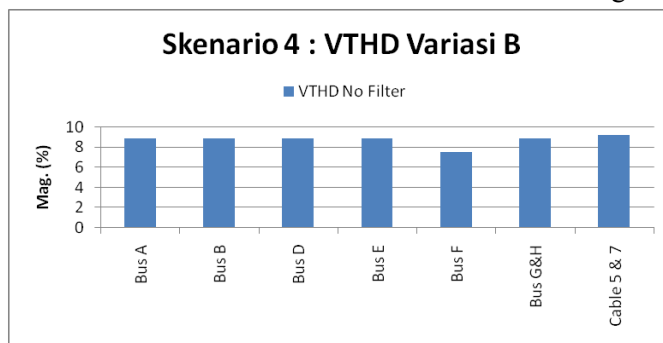


Gambar 4.33 Nilai VIHD Variasi A Skenario 4 Busbar D dan E

Dari hasil simulasi diperoleh Nilai harmonisa yang menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan beban 20% dengan memparalelkan 2 *shaft generator* dengan 1 *diesel generator*, nilai distorsi harmonisa total atau VTHD yang dihasilkan berada dibawah batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Sedangkan nilai harmonisa individual atau VIHD pada masing-masing orde dalam variasi ini, diperoleh nilai VIHD setiap orde yang berada dibawah batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5%, dimana orde tertinggi terdapat pada orde harmonisa ke-5.

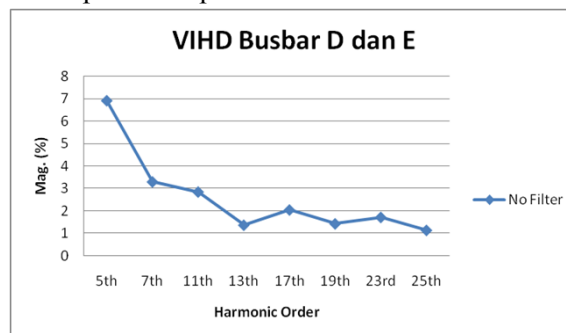
4.7.2. Variasi Beban B , kedua *bow thruster* pada load 50% dan Beban Listrik Kapal

Pada simulasi ini kedua unit *thruster* yang saling terhubung pada Busbar D dan E dioperasikan pada daya 50% dari daya total *thruster* yakni sebesar 257,5 kw masing-masing. Dari hasil simulasi diperoleh nilai VTHD sebesar 8.87% pada Busbar D dan E yang menghubungkan antara *bow thruster* dengan *shaft generator*, untuk busbar A dan B yang menghubungkan beban listrik dengan *diesel generator 1* dan 2 serta busbar G dan H yang menghubungkan beban *distribution panel* dengan busbar a dan B diperoleh nilai VTHD sebesar 8.87%, sedangkan pada *cable 5 & 7* yang menghubungkan *Variable Frequency Drive* dengan Busbar D & E didapatkan nilai harmonisa total sebesar 9.26%. Pada busbar F yang menghubungkan beban listrik 220V dengan *transformator 1 & 2* didapatkan nilai VTHD sebesar 7.51%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi B dalam konfigurasi skenario 4:



Gambar 4.34 Nilai VTHD Variasi B Skenario 4

Nilai VIHD yang diperoleh dari hasil simulasi, memiliki nilai terbesar pada orde ke- 5 yakni sebesar 6.91% yang terdapat pada busbar D dan E, busbar busbar A dan B serta busbar G dan H. Untuk nilai pada busbar A dan B serta busbar G dan H tersebut dapat dilihat pada lembar lampiran. Untuk nilai VIHD pada busbar F yang menghubungkan antara *transformator 1 & 2* dengan beban listrik 220V memiliki nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 6.41% yang dapat dilihat pada bagian lampiran dibawah. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :

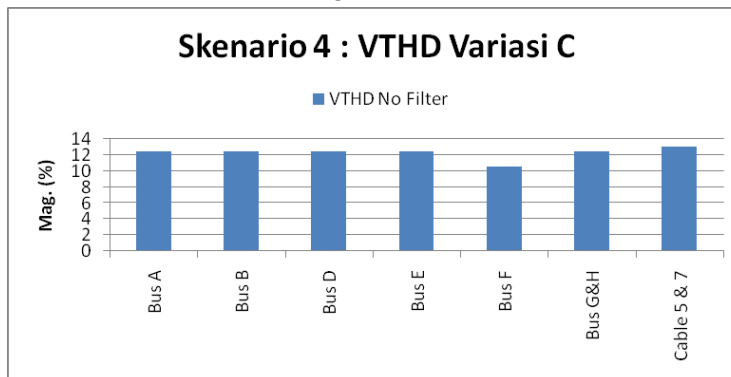


Gambar 4.35 Nilai VIHD Variasi B Skenario 4 Busbar D dan E

Nilai harmonisa yang diperoleh dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan daya 50% pada konfigurasi Skenario 4 *Closed Bus* nilai distorsi harmonisa total yang dihasilkan melewati batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Untuk nilai Harmonisa Individual pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD terbesar pada orde ke 5 yang berada diatas batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5%. Dengan nilai VIHD dan VTHD yang melebihi batas ini maka untuk memperbaiki-nya perlu dipasangkan filter harmonisa pasif orde ke-5 pada busbar yang terhubung dengan sumber harmonisa pada sistem yakni *variable frequency drive*.

4.7.3. Variasi Beban C, kedua *bow thruster* pada *load* 70% dan Beban Listrik Kapal

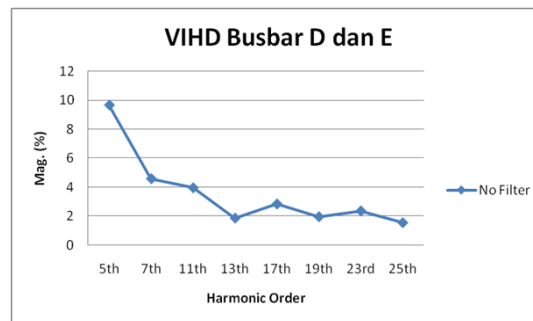
Pada simulasi variasi C kedua unit *thruster* yang saling terhubung pada Busbar D dan E dioperasikan dengan daya *thruster* sebesar 360,5 kw masing-masing atau 70% dari daya maksimal *thruster*. Dari hasil simulasi diperoleh nilai VTHD sebesar 12.44% pada Busbar D dan E yang menghubungkan antara *bow thruster* dengan *shaft generator*, untuk busbar A & B yang menghubungkan beban listrik dengan *diesel generator 1* dan 2 diperoleh nilai VTHD sebesar 12.44%, sedangkan pada *cable 5 & 7* yang menghubungkan *Variable Frequency Drive* dengan Busbar D & E didapatkan nilai harmonisa total sebesar 13%. Untuk busbar G dan H yang menghubungkan beban *distribution panel* dengan busbar A dan B diperoleh nilai VTHD sebesar 12.44%. Pada busbar F yang menghubungkan beban listrik 220V dengan *transformator 1 & 2* didapatkan nilai VTHD sebesar 10.53%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi C dalam konfigurasi skenario 4:



Gambar 4.36 Nilai VTHD Variasi C Skenario 4

Nilai VIHD yang diperoleh pada simulasi ini memiliki nilai yang identik pada busbar D dan E, pada busbar A dan B serta busbar G dan H yakni sebesar 9.68% pada orde ke-5, untuk nilai VIHD pada orde lainnya dapat dilihat pada lembar lampiran. Untuk nilai VIHD pada busbar F yang menghubungkan antara *transformator 1 & 2* dengan beban listrik 220V memiliki nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 8.99% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :

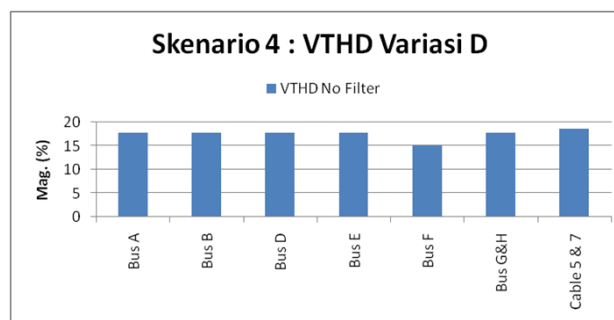


Gambar 4.37 Nilai VIHD Variasi C Skenario 4 Busbar D dan E

Dari hasil simulasi diperoleh Nilai harmonisa yang menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan beban 70% dengan konfigurasi Skenario 4 *Closed Bus*, nilai distorsi harmonisa yang dihasilkan berada jauh diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8% pada nilai *Voltage Total Harmonic Distortion*. Untuk nilai Harmonisa Individual pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD pada orde yang 5 berada diatas batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5% sehingga untuk meredam nilai distorsi tersebut dibutuhkan adanya filter harmonisa khususnya filter harmonisa pada orde ke-5.

4.7.4. Variasi Beban D, kedua *bow thruster* pada load 100% dan Beban Listrik Kapal

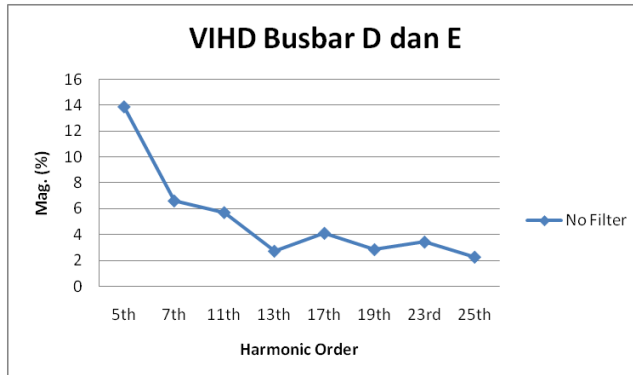
Pada simulasi variasi D kedua unit *thruster* yang saling terhubung pada Busbar D dan E dioperasikan pada daya maksimal motor *thruster* yakni sebesar 515 kw masing-masing. Dari hasil simulasi diperoleh nilai VTHD sebesar 17.82% pada Busbar D dan E, untuk busbar A & B diperoleh nilai VTHD sebesar 17.82%, sedangkan pada *cable 5 & 7* yang menghubungkan *Variable Frequency Drive* dengan Busbar D & E didapatkan nilai harmonisa total sebesar 18.65%. Untuk busbar G dan H yang diperoleh nilai VTHD sebesar 17.82%. Pada busbar F yang menghubungkan beban listrik 220V dengan *transformator 1 & 2* didapatkan nilai VTHD sebesar 15.07%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi D dalam konfigurasi skenario 4:



Gambar 4.38 Nilai VTHD Variasi D Skenario 4

Pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H memiliki nilai VIHD terbesar yang identik satu dengan lainnya yakni sebesar 13.86% pada orde harmonisa ke-5 sedangkan pada busbar F yang menghubungkan antara *transformator 1 & 2* dengan beban listrik 220V memiliki nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 12.87% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :



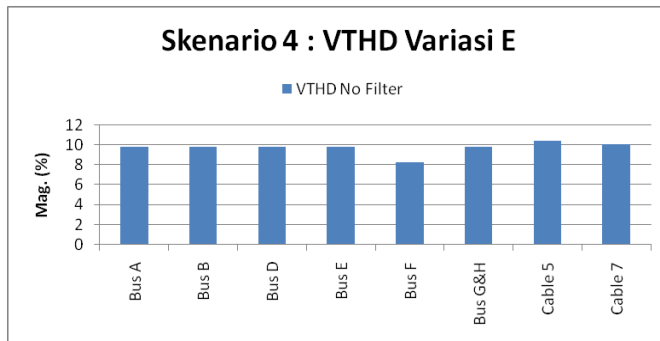
Gambar 4.39 Nilai VIHD Variasi D Skenario 4 Busbar D dan E

Dari hasil simulasi diperoleh Nilai harmonisa yang menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan beban 100% dengan konfigurasi Skenario 4 *Closed Bus*, nilai distorsi harmonisa yang dihasilkan berada jauh diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8% pada nilai *Voltage Total Harmonic Distortion*. Untuk nilai Harmonisa Individual pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD pada orde ke-5 dan orde ke-7 yang berada diatas batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5% sehingga pada variasi ini membutuhkan filter harmonisa untuk meredam harmonisa orde ke-5 dan harmonisa orde ke-7.

4.7.5. Variasi Beban E, *bow thruster 1* dibebani 70% dan *bow thruster 2* dibebani 40% + Beban Listrik Kapal

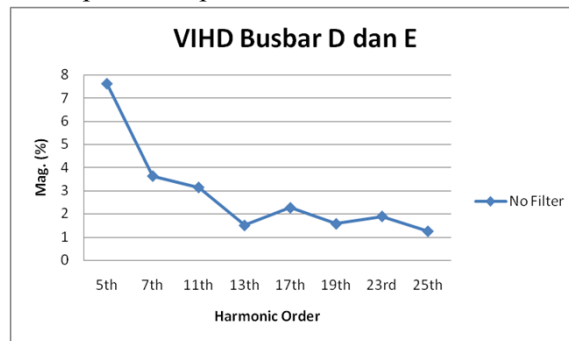
Pada simulasi variasi E kedua unit *thruster* yang saling terhubung pada Busbar D dan E dioperasikan masing-masing pada daya 360.5 kW dan 206 kW. Dari hasil simulasi diperoleh nilai VTHD sebesar 9.77% pada Busbar D dan E yang menghubungkan antara *bow thruster* dengan *shaft generator*, untuk busbar A & B yang menghubungkan beban listrik dengan *diesel generator 1* dan 2 diperoleh nilai VTHD sebesar 9.77%, sedangkan pada *cable 5 & 7* yang menghubungkan *Variable Frequency Drive* dengan Busbar D & E didapatkan nilai harmonisa total sebesar 10.33%. Untuk busbar G dan H yang menghubungkan beban *distribution panel* dengan busbar A dan B diperoleh nilai VTHD sebesar 9.77%. Pada busbar F yang menghubungkan beban listrik 220V dengan *transformator 1 & 2* didapatkan nilai VTHD sebesar 8.26%.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi E dalam konfigurasi skenario 4:



Gambar 4.40 Nilai VTHD Variasi E Skenario 4

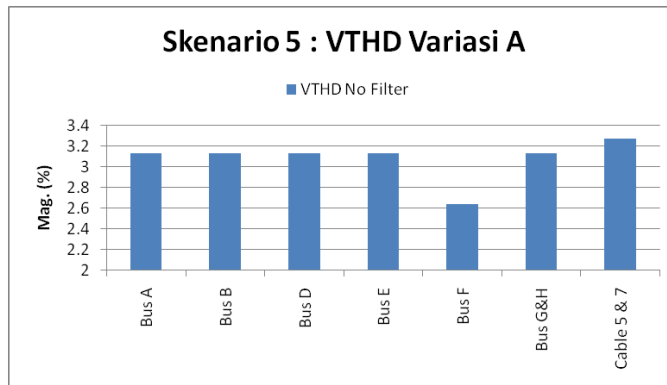
Nilai VIHD terbesar yang diperoleh pada simulasi ini memiliki nilai yang identik pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H yakni sebesar 7.6% pada orde ke-5, untuk nilai VIHD pada orde lainnya dapat dilihat pada lembar lampiran. Untuk nilai VIHD pada busbar F yang menghubungkan antara *transformator 1 & 2* dengan beban listrik 220V memiliki nilai VIHD terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 7.05% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :



Gambar 4.41 Nilai VIHD Variasi E Skenario 4 Busbar D dan E

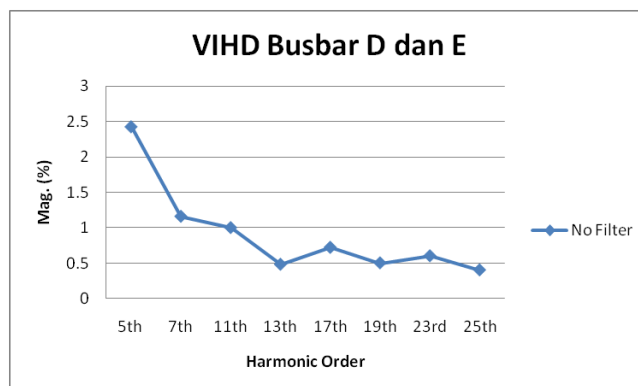
Dari hasil simulasi diperoleh Nilai harmonisa yang menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan daya 70% dan 40% dengan konfigurasi Skenario 4 *Closed Bus*, nilai distorsi harmonisa yang dihasilkan berada diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8% pada nilai VTHD. Untuk nilai Harmonisa Individual pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD pada orde ke-5 berada diatas batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5% sehingga untuk memperbaiki nilai distorsi tersebut membutuhkan filter harmonisa pasif yang dipasangkan pada busbar yang terhubung dengan sumber harmonisa. Pada skenario 4 ini juga terjadi penurunan *power factor* pada busbar A dan B dimana sebelum *thruster* dinyalakan, busbar A dan B memiliki PF sebesar 97%, sedangkan saat *thruster* dioperasikan pada daya 50%, dipeoleh penurunan nilai PF menjadi sebesar 90.1% pada busbar A dan B

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi A dalam konfigurasi skenario 5:



Gambar 4.43 Nilai VTHD Variasi A Skenario 5

Pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H memiliki nilai VIHD terbesar yang identik satu dengan lainnya yakni sebesar 2.43% pada orde harmonisa ke-5 sedangkan pada busbar F yang menghubungkan antara *transformator 1 & 2* dengan beban listrik 220V memiliki nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 2.26% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :

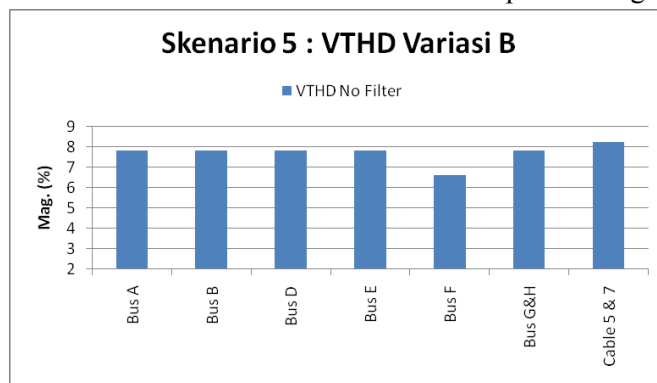


Gambar 4.44 Nilai VIHD Variasi A Skenario 5 Busbar D dan E

Dari hasil simulasi diperoleh Nilai harmonisa yang menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan beban 20% pada konfigurasi Skenario 5 *Closed Bus* nilai distorsi harmonisa total atau nilai VTHD yang dihasilkan berada dibawah batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8% pada nilai *Voltage Total Harmonic Distortion*. Untuk nilai Harmonisa Individual atau nilai VIHD pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD setiap orde pada setiap bus utama berada dibawah batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5%.

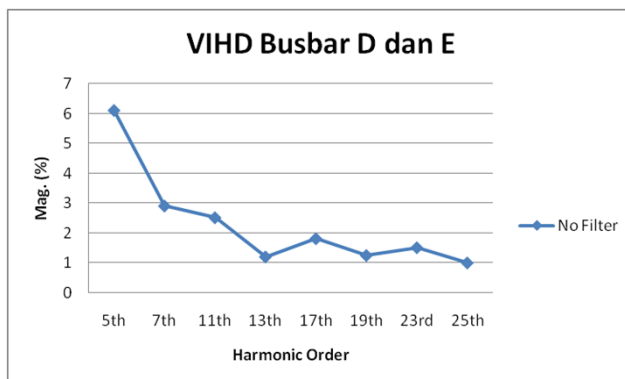
4.8.2. Variasi Beban B, kedua *bow thruster* pada daya 50% dan Beban Listrik Kapal

Simulasi selanjutnya ialah variasi B yang dilaksanakan dengan mengoperasikan kedua unit *thruster* yang saling terhubung pada Busbar D dan E dioperasikan pada daya 50% dari daya total *thruster* yakni sebesar 257.5 kw masing-masing. Dari hasil simulasi diperoleh nilai VTHD sebesar 7.83% pada Busbar D dan E, untuk busbar A & B diperoleh nilai VTHD sebesar 7.83%, pada busbar G dan H menghasilkan nilai VTHD sebesar 7.83%, sedangkan pada *cable 5 & 7* didapatkan nilai harmonisa total sebesar 8.21%. Pada busbar F didapatkan nilai VTHD sebesar 6.62%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi B pada konfigurasi skenario 5:



Gambar 4.45 Nilai VTHD Variasi B Skenario 5

Nilai VIHD terbesar yang diperoleh pada simulasi ini memiliki nilai yang identik pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H yakni sebesar 6.09% pada orde ke-5, untuk nilai VIHD pada orde lainnya dapat dilihat pada lembar lampiran. Untuk nilai VIHD pada busbar F memiliki nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 7.03% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :

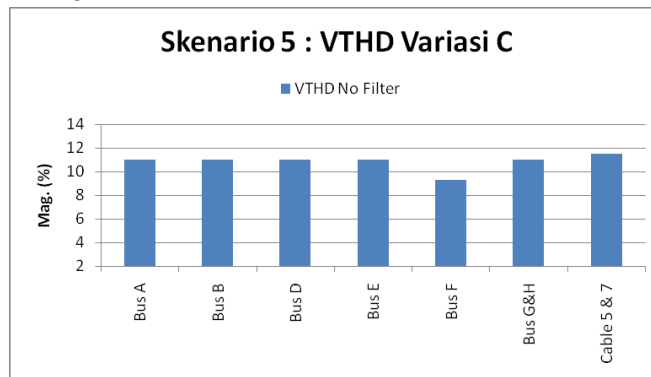


Gambar 4.46 Nilai VIHD Variasi B Skenario 5 Busbar D dan E

Dari hasil simulasi diperoleh Nilai harmonisa yang menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan beban 50% pada konfigurasi Skenario 5 *Closed Bus* nilai distorsi harmonisa total atau VTHD yang dihasilkan berada diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Untuk nilai Harmonisa Individual pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD pada orde ke-5 berada diatas batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5%. Untuk meredam nilai harmonisa pada variasi ini perlu dipasangkan filter harmonisa pasif yang diatur untuk meredam orde harmonisa tertinggi yakni orde harmonisa ke-5.

4.8.3. Variasi Beban C, kedua *bow thruster* pada daya 70% dan Beban Listrik Kapal

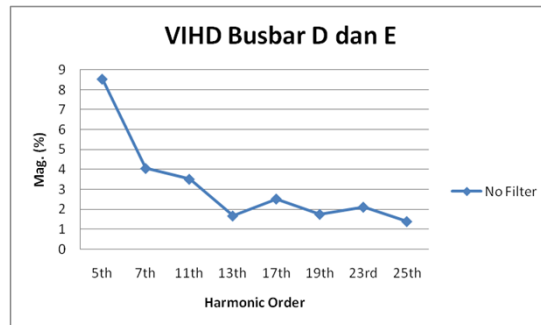
Variasi selanjutnya yang dilakukan ialah Variasi C yang disimulasikan kedua unit *thruster* saling terhubung pada Busbar D dan E dioperasikan pada daya 70% dari daya total *thruster* yakni sebesar 360.5 kw masing-masing. Dari hasil simulasi diperoleh nilai VTHD pada Busbar D dan E yang menghubungkan antara *bow thruster* dengan *shaft generator* bernilai sebesar 10.98%, untuk busbar A & B yang menghubungkan beban listrik dengan *diesel generator 1* dan 2 diperoleh nilai VTHD sebesar 10.98%, pada busbar G dan H yang menghubungkan beban pada *distribution panel* dengan busbar A dan B menghasilkan nilai VTHD juga sebesar 10.98%, sedangkan pada *cable 5 & 7* yang menghubungkan *Variable Frequency Drive* dengan Busbar D & E didapatkan nilai harmonisa total sebesar 11.53%. Pada busbar F yang menghubungkan beban listrik 220V dengan *transformator 1 & 2* didapatkan nilai VTHD sebesar 9.28%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi C dalam konfigurasi skenario 5:



Gambar 4.47 Nilai VTHD Variasi C Skenario 5

Pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H memiliki nilai VIHD terbesar yang identik satu dengan lainnya yakni sebesar 8.54% pada orde harmonisa ke-5 sedangkan pada busbar F yang menghubungkan antara *transformator 1 & 2* dengan beban listrik 220V memiliki nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 7.92% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :



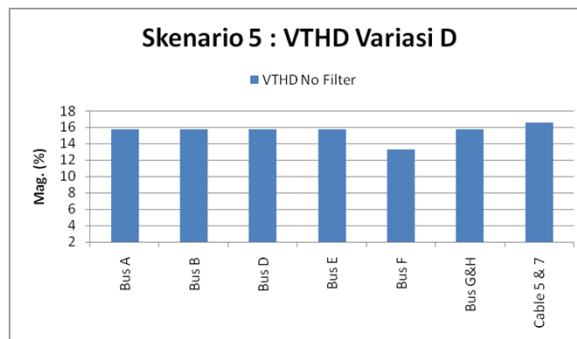
Gambar 4.48 Nilai VIHD Variasi C Skenario 5 Busbar D dan E

Data nilai harmonisa hasil simulasi yang diperoleh menunjukkan pada saat *bow thruster* dioperasikan 70% dari daya maksimal-nya konfigurasi skenario 5 ini, nilai total distorsi harmonisa atau VTHD yang muncul pada setiap busbar utama memiliki nilai yang melewati maksimal yang dikeluarkan oleh IEEE dan ABS sebesar 8%. Selain nilai VTHD, nilai individual distorsi harmonisa yang muncul pada variasi C untuk orde ke-5 pada setiap bus memiliki nilai VIHD yang melebihi batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni sebesar 5% untuk masing-masing orde harmonisa sehingga pada variasi ini membutuhkan filter harmonisa untuk meredam harmonisa orde ke-5.

4.8.4. Variasi Beban D, kedua *bow thruster* pada daya 100% dan Beban Listrik Kapal

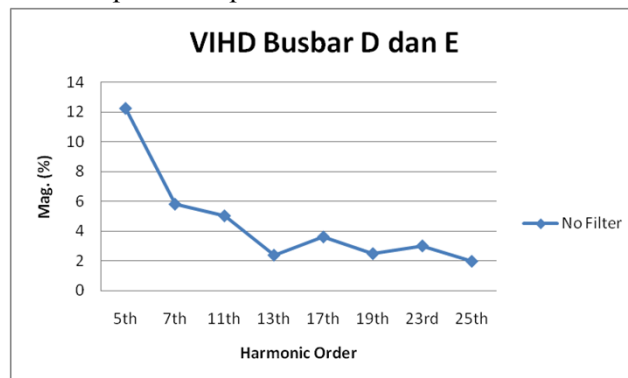
Simulasi dengan variasi ke empat atau variasi D ini kedua unit *thruster* yang saling terhubung pada Busbar D dan E dioperasikan pada daya maksimal pada spesifikasi *motor thruster* yakni sebesar 515 kw masing-masing. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai distorsi harmonisa total atau VTHD pada Busbar D dan E sebesar 15.72%, untuk busbar A & B diperoleh nilai VTHD sebesar 15.72%, pada busbar G dan H menghasilkan nilai VTHD sebesar 15.72%, sedangkan pada *cable 5 & 7* didapatkan nilai harmonisa total sebesar 16.55%. Pada busbar F didapatkan nilai VTHD sebesar 13.29%.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi D dalam konfigurasi skenario 5:



Gambar 4.49 Nilai VTHD Variasi D Skenario 5

Dari hasil simulasi diperoleh nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* dari sistem memiliki nilai terbesar pada orde ke- 5 yakni sebesar 12.22% diikuti dengan orde harmonisa ke-7 yakni sebesar 5.82% yang terdapat pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H. Untuk nilai pada busbar A dan B serta busbar G dan H tersebut dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran. Untuk nilai VIHD pada busbar F memiliki nilai VIHD terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 11.34% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :



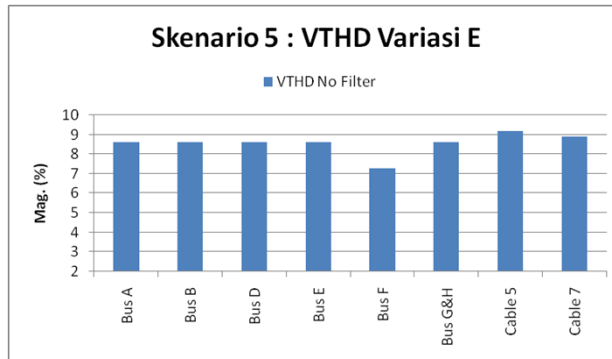
Gambar 4.50 Nilai VIHD Variasi D Skenario 5 Busbar D dan E

Data yang diperoleh dari hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai harmonisa yang timbul pada saat *thruster* dioperasikan dengan 100% pada konfigurasi Skenario 5 *Closed Bus*, menghasilkan nilai distorsi harmonisa total atau VTHD yang berada jauh diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Untuk nilai Harmonisa Individual pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD pada orde ke-5, ke-7 dan ke-11 yang berada diatas batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5%. Pada skenario 5 ini juga terjadi penurunan *power factor* pada busbar A dan B dimana sebelum *thruster* dinyalakan, busbar A dan B memiliki PF awal sebesar 98.3%, sedangkan saat *thruster* dioperasikan pada daya 50%, dipeoleh penurunan nilai PF menjadi sebesar 94% pada busbar A dan B.

4.8.5. Variasi Beban E, bow thruster 1 pada daya 70% dan bow thruster 2 pada daya 40% + Beban Listrik Kapal

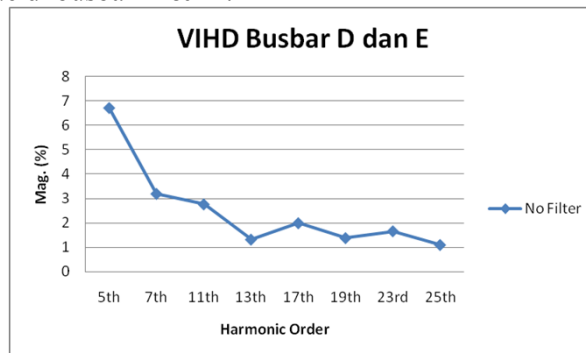
Variasi terakhir pada konfigurasi skenario 5 ini ialah dengan mengoperasikan kedua unit *thruster* yang saling terhubung pada Busbar D dan E masing-masing pada daya 70% dan 40% dari daya total *thruster*. Data yang didapatkan dari hasil simulasi diperoleh nilai VTHD sebesar 8.62% pada Busbar D dan E yang menghubungkan antara *bow thruster* dengan *shaft generator*, untuk busbar A & B yang menghubungkan beban listrik dengan *diesel generator 1* dan 2 diperoleh nilai VTHD sebesar 8.62%, pada busbar G dan H yang menghubungkan beban pada *distribution panel* dengan busbar A dan B menghasilkan nilai VTHD sebesar 8.62%, sedangkan pada *cable 5 & 7* yang menghubungkan *Variable Frequency Drive* dengan Busbar D & E didapatkan nilai harmonisa total sebesar 9.18%. Pada busbar F yang menghubungkan beban listrik 220V dengan *transformator 1 & 2* didapatkan nilai VTHD sebesar 7.29%.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi E dalam konfigurasi skenario 5:



Gambar 4.51 Nilai VTHD Variasi E Skenario 5

Dari hasil simulasi diperoleh nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* dari sistem memiliki nilai terbesar pada orde ke- 5 yakni sebesar 6.7% yang terdapat pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H. Untuk nilai VIHD untuk orde lainnya pada busbar A dan B serta busbar G dan H tersebut dapat dilihat pada lembar lampiran. Untuk nilai VIHD pada busbar F yang menghubungkan antara *transformator 1 & 2* dengan beban listrik 220V memiliki nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 6.22% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :

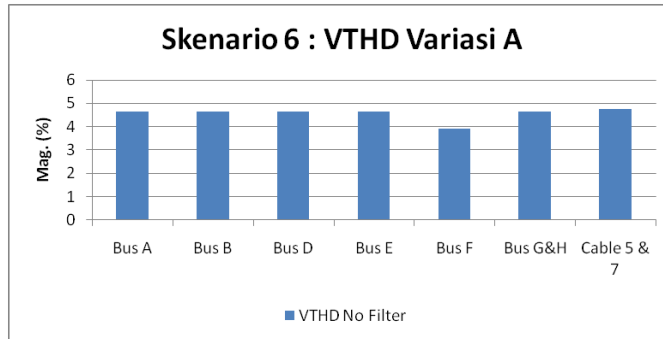


Gambar 4.52 Nilai VIHD Variasi E Skenario 5 Busbar D dan E

Pada simulasi Variasi E ini diperoleh nilai harmonisa yang menunjukkan bahwa pada saat *thruster* divariasikan beroperasi pada daya 70% dan 40% dari daya maksimal *thruster* pada konfigurasi Skenario 4 *Closed Bus* nilai distorsi harmonisa total atau VTHD yang dihasilkan berada diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Untuk nilai Harmonisa Individual pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD orde ke-5 berada diatas batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5%.

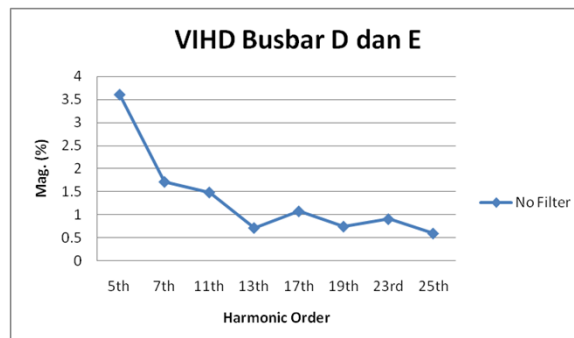
Variasi pertama dalam skenario 6 ini adalah dengan mengoperasikan kedua unit *thruster* pada daya 20% dari daya maksimal *thruster* yakni sebesar 103 kW untuk setiap *thruster*. Data yang diperoleh dari simulasi pada variasi ini menunjukkan bahwa nilai distorsi harmonisa total atau VTHD pada Busbar D dan E yang menghubungkan antara *bow thruster* dengan *shaft generator* sebesar 4.63%. Untuk nilai VTHD pada busbar A & B yang menghubungkan beban listrik dengan *diesel generator 1* dan 2 diperoleh nilai

sebesar 4.63%, selanjutnya pada busbar G dan H yang menghubungkan beban pada *distribution panel* dengan busbar A dan B menghasilkan nilai VTHD sebesar 4.63%. Pada busbar F yang menghubungkan beban listrik 220V dengan *transformator 1 & 2* didapatkan nilai VTHD sebesar 3.92%. Selain terdapat pada busbar, nilai VTHD juga diperoleh pada *cable 5 & 7* yang menghubungkan *Variable Frequency Drive* dengan Busbar D & E didapatkan nilai harmonisa total sebesar 4.77%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi A dalam konfigurasi skenario 6:



Gambar 4.54 Nilai VTHD Variasi A Skenario 6

Pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H memiliki nilai VIHD terbesar yang identik satu dengan lainnya yakni sebesar 3.6% pada orde harmonisa ke-5 sedangkan pada busbar F yang menghubungkan antara *transformator 1 & 2* dengan beban listrik 220V memiliki nilai VIHD atau *Voltage Individual Harmonic Distortion* terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 3.92% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :

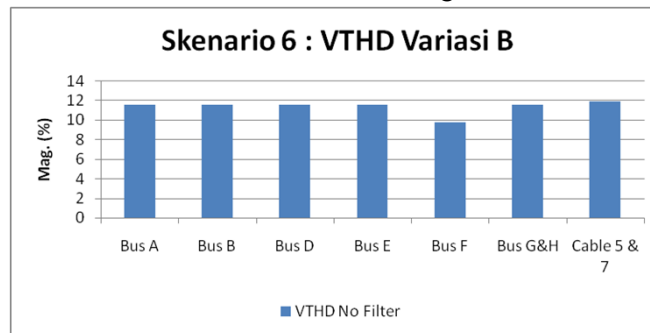


Gambar 4.55 Nilai VIHD Variasi A Skenario 6 Busbar D dan E

Dari hasil simulasi diperoleh Nilai harmonisa yang menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan beban 20% pada konfigurasi Skenario 6 *Closed Bus* nilai distorsi harmonisa yang dihasilkan berada dibawah batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8% pada nilai *Voltage Total Harmonic Distortion*. Untuk nilai Harmonisa Individual pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD setiap orde yang berada dibawah batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5%.

4.9.2. Variasi Beban B kedua *bow thruster* pada load 50% dan Beban Esensial Listrik Kapal

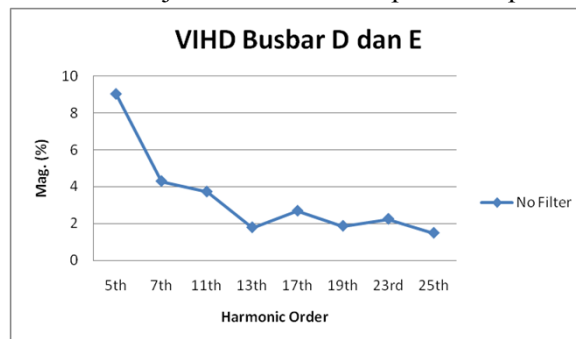
Variasi kedua dengan konfigurasi skenario 6 pada pada simulasi ini dilakukan dengan mengoperasikan kedua *thruster* pada daya 50% dari daya maksimal *thruster* yakni sebesar 257.5 kW masing-masing. Dari hasil simulasi diperoleh data yang menunjukkan bahwa nilai bahwa VTHD pada Busbar D dan E sebesar 11.61%. Nilai VTHD yang diperoleh pada busbar A & B ialah sebesar 11.61%, sedangkan pada busbar G dan H menghasilkan nilai VTHD sebesar 11.61%. Pada busbar F didapatkan nilai VTHD sebesar 9.81%. Selain pada busbar, nilai VTHD juga diperoleh pada *cable* 5 & 7 dengan nilai harmonisa total sebesar 11.98%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi B dalam konfigurasi skenario 6:



Gambar 4.56 Nilai VTHD Variasi B Skenario 6

Pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H memiliki nilai VIHD terbesar yang identik satu dengan lainnya yakni sebesar 9.02% pada orde harmonisa ke-5 sedangkan pada busbar F memiliki nilai VIHD terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 8.38% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :

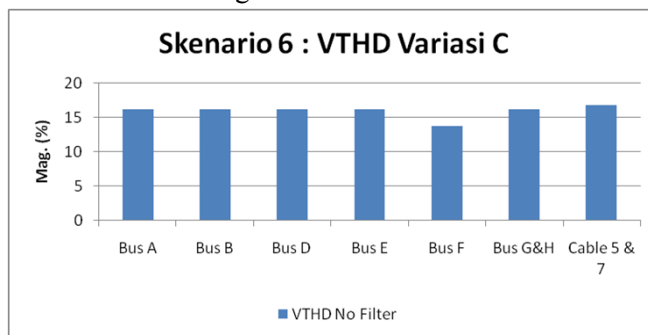


Gambar 4.57 Nilai VIHD Variasi B Skenario 6 Busbar D dan E

Data yang diperoleh dari hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai harmonisa yang timbul pada saat *thruster* dioperasikan dengan daya 50% menghasilkan nilai VTHD yang berada jauh diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Untuk nilai VIHD tiap orde, diperoleh nilai VIHD pada orde ke-5 yang berada diatas batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5%.

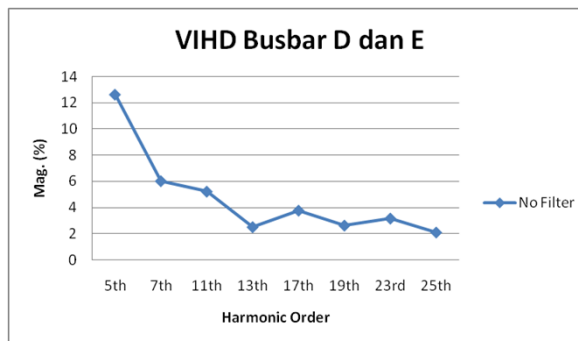
4.9.3. Variasi Beban C kedua *bow thruster* pada *load* 70% dan Beban Esensial Listrik Kapal

Variasi ketiga ini dilakukan dengan mengoperasikan kedua *thruster* pada daya 70% dari daya maksimal *thruster*. Dari hasil simulasi diperoleh data yang menunjukkan bahwa nilai bahwa nilai VTHD pada Busbar D dan E sebesar 16.27%. Nilai VTHD yang diperoleh pada busbar A & B ialah sebesar 16.27%, sedangkan pada busbar G dan H menghasilkan nilai VTHD sebesar 16.27%. Pada busbar F didapatkan nilai VTHD sebesar 13.76%. Selain pada busbar, nilai VTHD juga diperoleh pada *cable* 5 & 7 dengan nilai VTHD sebesar 16.82%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi C dalam konfigurasi skenario 6:



Gambar 4.58 Nilai VTHD Variasi C Skenario 6

Pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H memiliki nilai VIHD terbesar yang identik satu dengan lainnya yakni sebesar 12.65% pada orde harmonisa ke-5 dan 6.02% pada orde ke-7, sedangkan pada busbar F memiliki nilai VIHD terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 11.74% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :



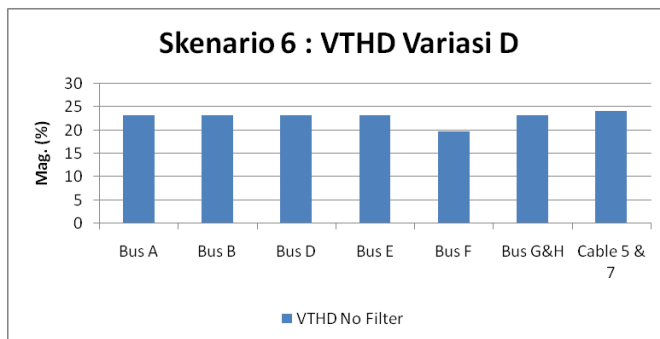
Gambar 4.59 Nilai VIHD Variasi C Skenario 6 Busbar D dan E

Data yang diperoleh dari hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai harmonisa yang timbul pada saat *thruster* dioperasikan dengan daya 70% pada konfigurasi Skenario 6 *Closed Bus*, menghasilkan nilai VTHD yang berada jauh diatas batas maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Untuk nilai Harmonisa Individual pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD pada orde ke-5 dan orde ke-7 yang berada diatas batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5%.

4.9.4. Variasi Beban D kedua *bow thruster* pada load 100% dan Beban Esensial Listrik Kapal

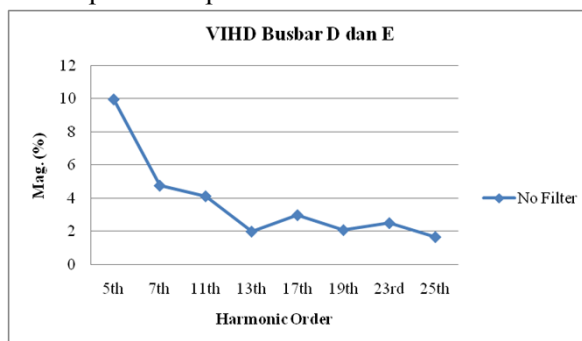
Variasi terakhir dengan konfigurasi skenario 6 pada pada simulasi ini dilakukan dengan mengoperasikan kedua *thruster* pada daya daya maksimal *thruster* yakni sebesar 515 kW masing-masing. Dari hasil simulasi diperoleh data yang menunjukkan bahwa nilai distorsi harmonisa total atau VTHD pada Busbar D dan E sebesar 23.3%. Nilai VTHD yang diperoleh pada busbar A & B ialah sebesar 23.3%, sedangkan pada busbar G dan H menghasilkan nilai VTHD sebesar 23.3% dan pada busbar F didapatkan nilai VTHD sebesar 19.7%. Selain pada busbar, nilai VTHD juga diperoleh pada *cable 5 & 7* dengan nilai harmonisa total sebesar 24.13%.

Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi C dalam konfigurasi skenario 6:



Gambar 4.60 Nilai VTHD Variasi D Skenario 6

Dari hasil simulasi diperoleh nilai VIHD terbesar pada orde ke- 5 yakni sebesar 18.12% diikuti dengan orde ke-7 dan ke-11 sebesar 8.62% dan 7.46% masing-masing yang terdapat pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H. Untuk nilai VIHD pada busbar F memiliki nilai VIHD terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 16.81% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :



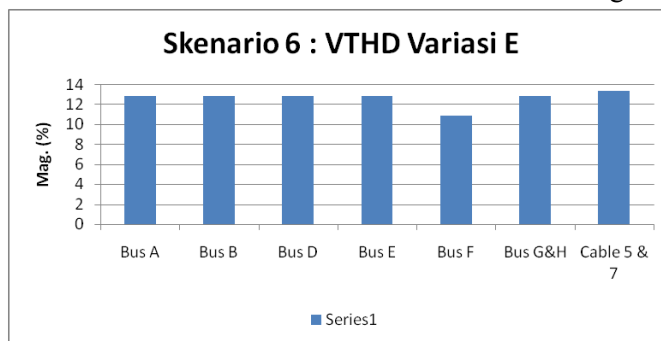
Gambar 4.61 Nilai VIHD Variasi D Skenario 6 Busbar D dan E

Data yang diperoleh dari hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa nilai harmonisa yang timbul pada saat *thruster* dioperasikan dengan daya 100% pada konfigurasi Skenario 6, menghasilkan nilai VTHD yang berada jauh diatas batas

maksimal yang ditetapkan IEEE dan ABS yakni 8%. Untuk nilai VIHD pada masing-masing orde, diperoleh nilai VIHD pada orde ke-5 dan orde ke-7 dan orde ke-11 yang berada diatas batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 5%.

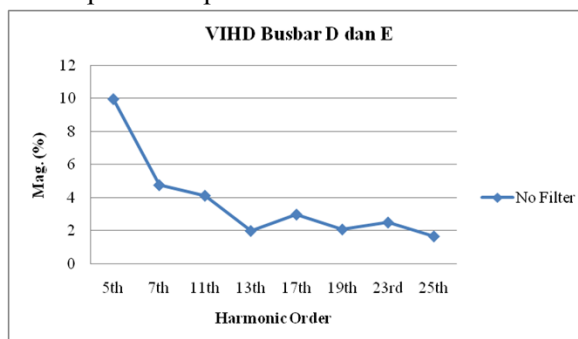
4.9.5. Variasi Beban E, kedua *bow thruster* pada load 20% dan Beban Esensial Listrik Kapal

Variasi terakhir ini dilakukan dengan mengoperasikan *thruster* pada daya 70% dan 40% dari daya maksimal *thruster*. Data yang diperoleh dari hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai VTHD pada Busbar D & E, A & B serta G & H diperoleh nilai sebesar 12.78%. Pada busbar F didapatkan nilai VTHD sebesar 10.8%. Selain terdapat pada busbar, nilai VTHD juga diperoleh pada *cable 5 & 7* dimana pada kedua kabel tersebut diperoleh nilai VTHD sebesar 13.33% dan 13.05%. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VTHD dari hasil simulasi variasi E dalam konfigurasi skenario 6:



Gambar 4.54 Nilai VTHD Variasi E Skenario 6

Pada busbar D dan E, busbar A dan B serta busbar G dan H memiliki nilai VIHD terbesar yang identik satu dengan lainnya yakni sebesar 9.93% pada orde harmonisa ke-5 sedangkan pada busbar F memiliki nilai VIHD terbesar pada orde ke-5 yakni sebesar 9.22% yang dapat dilihat lebih lanjut pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini menunjukkan nilai VIHD pada setiap orde di busbar D & E :



Gambar 4.55 Nilai VIHD Variasi E Skenario 6 Busbar D dan E

Dari hasil simulasi diperoleh Nilai harmonisa yang menunjukkan bahwa pada saat *thruster* dioperasikan dengan daya 70% dan 40% pada konfigurasi Skenario 6 *Closed Bus* nilai VTHD yang dihasilkan berada diatas batas maksimal yang ditetapkan

Tabel dibawah ini menunjukkan spesifikasi dan parameter perancangan dari filter harmonisa pasif orde ke-5 yang diperoleh dari hasil simulasi:

Tabel 4.4 Spesifikasi Filter Harmonisa Pasif Orde ke-5

Filter Harmonisa Pasif Orde Ke-5	
Design Parameter	
Q Factor	45
Harmonic Order	4.81
Harmonic Current	88.96
Load MVA	0.602
Filter Spesification	
Rated kV	0.415
Kapasitor Size (kVar)	107 kVar
Kapasitor Size (farrad)	1970 μF
Reaktansi Induktif	0.0698 Ω
Induktansi	$2.23 \times 10^{-3} \text{ H}$

Pada kolom *design parameter* diatas, nilai Q Factor atau ketajaman dari filter untuk meredam harmonisa pada orde tertentu dipilih nilai 45 dari antara nilai 30 hingga 60 dikarenakan nilai tersebut merupakan nilai tengah dimana filter tidak hanya fokus meredam harmonisa orde ke-5 saja, melainkan dapat pula meredam harmonisa orde ke-7 pula. Nilai spesifikasi dari filter sendiri nantinya akan dilakukan kalkulasi oleh *software* simulasi sehingga diperoleh nilai seperti tabel diatas. Selanjutnya ialah merancang filter harmonisa pasif orde ke-7 untuk mengatasi distorsi harmonisa pada variasi E yang timbul akibat pengoperasian kedua *thruster* dengan daya 100%. Adapun nilai parameter dan spesifikasi dari filter harmonisa pasif orde ke-7 yang diperoleh dari hasil simulasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Spesifikasi Filter Harmonisa Pasif Orde ke-7

Filter Harmonisa Pasif Orde Ke-7	
Design Parameter	
Q Factor	45
Harmonic Order	4.81
Harmonic Current	88.96
Load MVA	0.602
Filter Spesification	
Rated kV	0.415
Kapasitor Size (kVar)	107 kVar
Kapasitor Size (farrad)	1970 μF
Reaktansi Induktif	0.0357 Ω
Induktansi	$1.13 \times 10^{-3} \text{ H}$

Spesifikasi filter harmonisa tersebut diatas tidak berbeda jauh dengan hasil perhitungan matematis dengan mencari nilai masing-masing pada setiap komponen, adapun detail perhitungan matematis untuk perancangan filter harmonisa orde ke-5 adalah sebagai berikut:

- 1) Mencari nilai daya reaktif pada kapasitor untuk perbaikan power factor pada sistem:

$$Q = P_{(kw)}(\tan\phi \text{ lama} - \tan\phi \text{ baru})$$

Dimana nilai P adalah daya pada motor *thruster* dan $\cos \phi$ lama diperoleh dari hasil simulasi dengan nilai sebagai berikut:

- $\cos \phi \text{ lama} = 0.922$ ($\phi = 22.78^\circ$)
- $\cos \phi \text{ baru} = 0.975$ ($\phi = 12.83^\circ$)

Dimana nilai $\cos \phi$ lama diperoleh dari hasil simulasi dengan nilai sebagai berikut:

$$Q = 515 \text{ kw} (\tan 22.78^\circ - \tan 12.83^\circ)$$

$$Q = 515 \text{ kw} (0.4199 - 0.2278)$$

$$Q = 515 \text{ kw} (0.1903)$$

$$Q = 105.36 \text{ kVar}$$

Nilai daya reaktif yang terdapat pada kapasitor dari hasil perhitungan dengan hasil simulasi memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dimana pada hasil perhitungan diperoleh nilai 105.36 kVar sedangkan dari hasil simulasi diperoleh nilai 107kVar.

- 2) Menghitung nilai Reaktansi Kapasitif dari kapasitor berikut adalah rumus perhitungannya :

$$kVar = \frac{V_{LL}^2}{X_C}$$

Untuk memperoleh nilai reaktansi kapasitif atau X_C dibutuhkan nilai daya reaktif kapasitor pada perhitungan sebelumnya serta dibutuhkan nilai tegangan VLL atau tegangan line to line pada busbar.

$$X_C = \frac{V_{LL}^2}{Q}$$

$$X_C = \frac{0.415 \text{ kV}^2}{105.36 \text{ kVar}}$$

$$X_C = 1.630 \mu\Omega$$

- 3) Menghitung nilai Kapasitansi Kapasitor berikut adalah rumus perhitungannya :

$$C = \frac{kVar}{\omega_0 \times V_{LL}^2}$$

Setelah diperoleh nilai Q dan X_C , selanjutnya dapat dilakukan perhitungan besarnya kapasitansi kapasitor, berikut adalah detail perhitungan dari kapasitansi kapasitor:

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C}$$

$$C = \frac{1}{2.3.14.50\text{Hz} \cdot 1.630 \cdot 10^{-6}}$$

$$C = 1953 \mu F$$

Nilai kapasitansi kapasitor yang diperoleh dari hasil perhitungan ini memiliki hasil yang tidak berbeda jauh dengan hasil simulasi dimana pada hasil

simulasi diperoleh nilai C sebesar $1970 \mu F$ sedangkan hasil perhitungan diperoleh nilai $1953 \mu F$

- 4) Menghitung Nilai Induktansi L berikut adalah rumus perhitungannya :

$$\omega_n L = \frac{1}{\omega_n C}$$

Perhitungan selanjutnya adalah menentukan spesifikasi dari induktor dimana perhitungan pertama yang dilakukan adalah mencari besarnya nilai induktansi atau L pada induktor. Berikut adalah langkah perhitungan induktansi pada induktor:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi \cdot f \cdot \text{harmonic order})^2 \cdot C}$$

$$L = \frac{1}{(2.3,14.50.4.813)^2 \cdot 1953 \cdot 10^{-3}}$$

$$L = 2.24 \cdot 10^{-4} H$$

Nilai induktansi pada hasil perhitungan diatas memiliki perbedaan nilai sebesar $0.01 \cdot 10^{-4} H$ jika dibandingkan dengan nilai yang didapatkan dari hasil simulasi harmonisa dengan *software* simulasi.

- 5) Menghitung nilai Reaktansi Induktif, berikut adalah rumus perhitungannya :

$$X_L = \omega_0 L$$

Langkah selanjutnya ialah mencari nilai reaktansi induktif pada induktor, berikut adalah detail perhitungan reaktansi induktif filter harmonisa pasif:

$$X_L = 2\pi \cdot F \cdot L$$

$$X_L = 2.3,14.50.0.223 \mu H$$

$$X_L = 0.07033 \Omega$$

4.11 Analisa Data dan Simulasi Harmonisa Setelah Pemasangan Filter

Langkah selanjutnya untuk mengetahui apabila filter yang telah dirancang benar-benar dapat mengurangi nilai distorsi harmonisa total maupun individual pada orde tertentu ialah dengan melakukan simulasi harmonisa kembali pada mode konfigurasi yang memiliki nilai distorsi harmonisa tertinggi yang melebihi standard IEEE dan ABS. Jika setelah dipasang filter harmonisa namun nilai yang ditampilkan masih melebihi batas standard IEEE dan ABS, maka akan dilakukan perancangan filter harmonisa kembali hingga diperoleh hasil nilai distorsi harmonisa tersebut berada dibawah *standard IEEE*.

Simulasi setelah pemasangan filter ini dilakukan pada lima variasi sebelumnya, dimana hanya pada variasi D simulasi dilakukan dengan menggunakan 2 orde filter yakni orde ke-5 dan ke-7. Berikut ini adalah nilai VTHD dari setiap variasi dan setiap skenario baik sebelum maupun setelah dilakukan pemasangan filter:

Tabel 4.6 Data Nilai VTHD Setelah dan Sebelum Pemasangan Filter

Konfigurasi Generator	VTHD pada Setiap Variasi (%)									
	A (20%-20%)		B (50%-50%)		C (70%-70%)		D (100%-100%)		E (70%-40%)	
	No Filter	Filterized	No Filter	Filterized	No Filter	Filterized	No Filter	Filterized	No Filter	Filterized
Skenario 1	4.57	2.05	11.45	5.14	16.05	7.21	22.98	6.35	x	x
Skenario 2	4.57	2.05	11.45	5.14	16.05	7.21	22.98	6.35	12.6	5.66
Skenario 3	7.54	2.76	18.9	6.93	x	x	x	x	x	x
Skenario 4	3.54	1.73	8.87	4.34	12.44	6.08	17.82	5.76	9.77	4.78
Skenario 5	3.13	1.45	7.83	3.99	10.98	5.59	15.72	5.47	8.62	4.39
Skenario 6	4.63	2.06	11.61	5.18	16.27	7.26	23.3	6.38	12.78	5.7

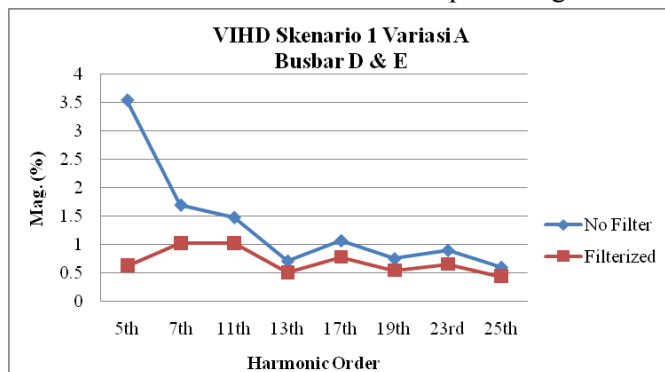
Dari grafik nilai VTHD diatas dapat dilihat bahwa nilai VTHD pada setiap skenario mengalami penurunan yang cukup drastis terutama pada variasi D dimana terjadi penurunan nilai VTHD sebesar 17% akibat pemasangan 2 filter harmonisa. Pada skenario 3 variasi C, D dan E tidak dilakukan simulasi dikarenakan ketidak mampuan generator untuk mensuplai *thruster* yang dioperasikan pada daya diatas 70% dari daya maksimalnya.

4.11.1. Analisa Data dan Hasil Simulasi Harmonisa Setelah Pemasangan Filter pada Skenario 1 : *Open Bus*

Dari nilai VTHD diatas telah terlihat bahwa filter tersebut memiliki kemampuan untuk meredam nilai harmonisa secara signifikan. Untuk mengetahui lebih jauh dari kemampuan filter harmonisa yang difokuskan dalam meredam orde tertentu, maka digunakan nilai VIHD untuk melihat nilai harmonisa pada setiap orde. Berikut ini adalah nilai VIHD pada busbar D dan E yang diperoleh dari hasil simulasi setelah pemasangan filter pada 5 variasi daya *thruster* pada konfigurasi skenario 1:

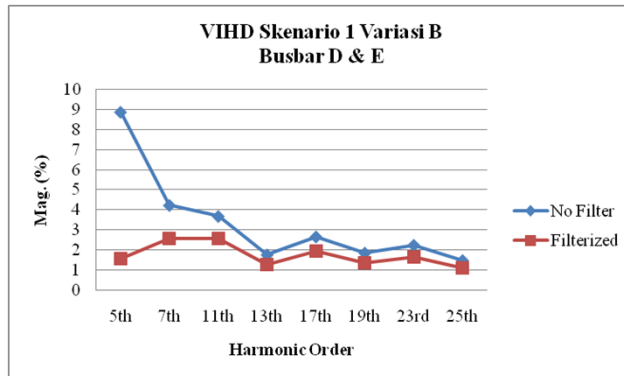
a. Variasi A, kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 20% dengan beban *thruster*

Pada variasi ini nilai VIHD orde ke-5 yang terdapat di busbar D dan E mengalami penurunan yang signifikan dimana sebelum dipasang filter, nilai VIHD pada orde ke-5 sebesar 3.54% sedangkan setelah dipasangkan filter harmonisa pasif diperoleh nilai VIHD baru sebesar 0.62%. Berikut ini adalah nilai VIHD hasil simulasi sebelum dan setelah pemasangan filter pada variasi A:

**Gambar 4.63** Grafik VIHD Skenario 1 Variasi A Sebelum dan Sesudah dipasang Filter

b. Variasi B, kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 50% dengan beban *thruster*

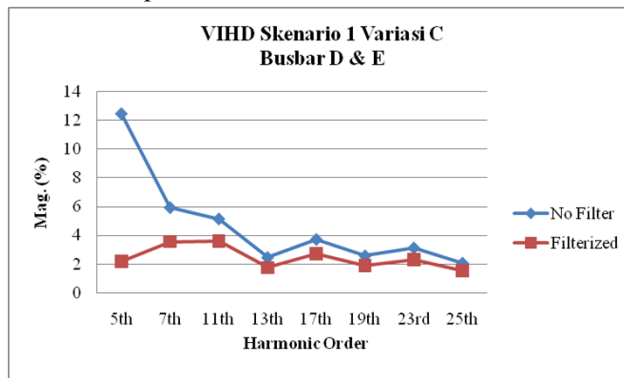
Pada variasi B ini nilai VIHD orde ke-5 dari yang sebelumnya bernilai sebesar 8.88% mengalami penurunan yang signifikan menjadi sebesar 1.56% setelah dipasangkan filter harmonisa pasif untuk orde harmonisa ke-5 pada busbar D dan E yang terhubung dengan sumber harmonisa terbesar yakni *variable frequency drive*. Untuk nilai VIHD pada busbar lainnya terlampir pada lembar lampiran. Berikut ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada variasi B pembebanan thruster:



Gambar 4.64 Grafik VIHD Skenario 1 Variasi B Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

c. Variasi C, kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 70% dengan beban *thruster*

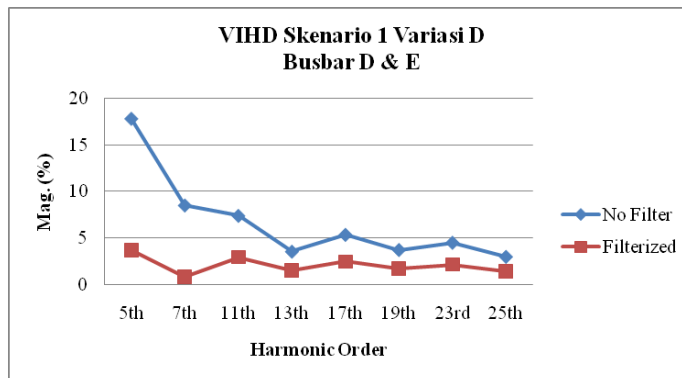
Pada variasi ketiga ini nilai VIHD orde ke-5 yang terdapat di busbar D dan E mengalami penurunan yang signifikan dimana sebelum dipasang filter, nilai VIHD-nya sebesar 12.45% dan mengalami penurunan yang signifikan menjadi sebesar 2.19% setelah dipasangkan filter harmonisa pasif orde ke-5 pada busbar D dan E. Untuk nilai VIHD pada busbar lainnya terlampir pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi C pembebanan thruster:



Gambar 4.65 Grafik VIHD Skenario 1 Variasi C Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

d. Variasi D, *bow thruster* dioperasikan pada daya 100% dengan beban *thruster*

Pada variasi terakhir dalam skenario ini nilai VIHD orde ke-5 dan orde ke-7 yang terdapat di busbar D dan E mengalami penurunan yang signifikan dimana sebelum dipasang filter, nilai VIHD pada orde ke-5 dan orde ke-7 sebesar 17.83% dan 8.5% sedangkan setelah dipasangkan 2 filter harmonisa pasif diperoleh nilai VIHD baru sebesar 3.68% pada orde ke-5 dan 0.79% pada orde ke-7. Untuk nilai VIHD sebelum dan setelah pemasangan filter pada busbar lainnya terlampir pada lembar lampiran. Berikut ini adalah nilai VIHD hasil simulasi sebelum dan setelah pemasangan filter pada variasi A skenario 1 pembebanan *thruster*:



Gambar 4.66 Grafik VIHD Skenario 1 Variasi D Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

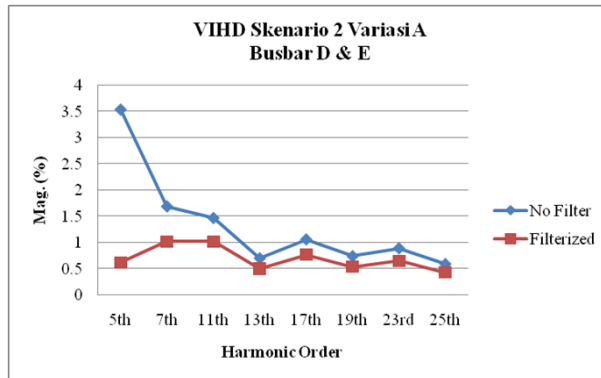
4.11.2. Analisa Data dan Hasil Simulasi Harmonisa Setelah Pemasangan Filter pada Skenario 2

Pada skenario 2 disimulasikan jika 2 unit *bow thruster* disuplai oleh 2 unit *shaft generator* yang diparalelkan. Sebelum dipasangkan filter, terdapat nilai distorsi harmonisa individual terbesar pada sistem sebesar 17.83% pada busbar D dan setelah dipasangkan filter, nilai VIHD pada busbar tersebut menurun menjadi sebesar 3.68%. Berikut ini adalah nilai VIHD hasil simulasi setelah dan sebelum pemasangan filter harmonisa pasif pada 5 variasi pembebanan *thruster*:

a. Variasi A, kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 20% dengan beban *thruster*

Pada variasi dalam skenario ini nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E yang menghubungkan antara *bow thruster* dengan *shaft generator* ini mengalami penurunan sebesar 3% menjadi 0.62% setelah pemasangan filter harmonisa pasif pada orde ke-5. Pada variasi ini terlihat meskipun sebelum dipasangkan filter memiliki nilai VTHD dan VIHD dibawah batas maksimal, namun dengan penambahan filter ini tetap dapat mengurangi besarnya nilai distorsi harmonisa dengan signifikan, sehingga nilai VTHD dan VIHD pada setiap bus untuk variasi ini dapat ditekan sekecil mungkin. Untuk nilai VIHD pada busbar lainnya terlampir pada lembar lampiran.

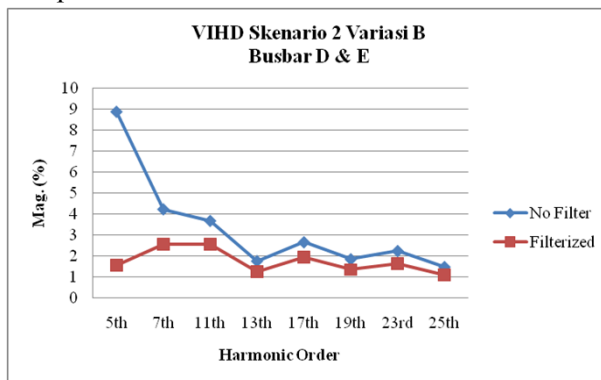
Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi sebelum dan setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi A pembebanan thruster:



Gambar 4.67 Grafik VIHD Skenario 2 Variasi A Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

b. Variasi B, kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 50% dengan beban *thruster*

Pada variasi B ini nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E yang menghubungkan antara *bow thruster* dengan *shaft generator* ini mengalami penurunan sebesar 7% menjadi 1.56% setelah pemasangan filter harmonisa pasif. Untuk nilai VIHD pada busbar lainnya terlampir pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi B pembebanan thruster:

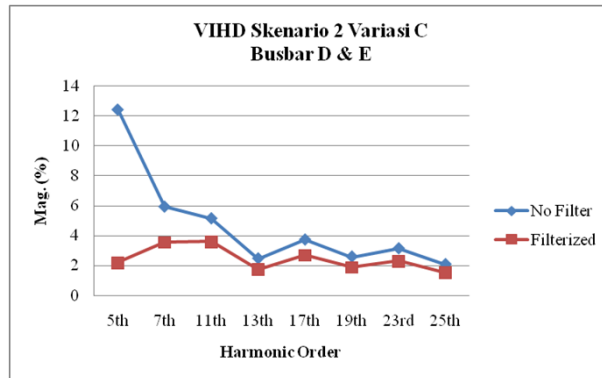


Gambar 4.68 Grafik VIHD Skenario 2 Variasi B Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

c. Variasi C, kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 70% dengan beban *thruster*

Hasil simulasi setelah pemasangan filter harmonisa pasif pada variasi C ini diperoleh nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E yang mengalami penurunan signifikan sebesar 10.26% menjadi 2.19% setelah pemasangan filter harmonisa pasif orde ke-5 pada busbar tersebut dimana pada busbar ini terhubung secara langsung dengan sumber harmonisa. Selain VIHD pada orde ke-5, nilai VIHD pada orde lainnya juga mengalami penurunan.

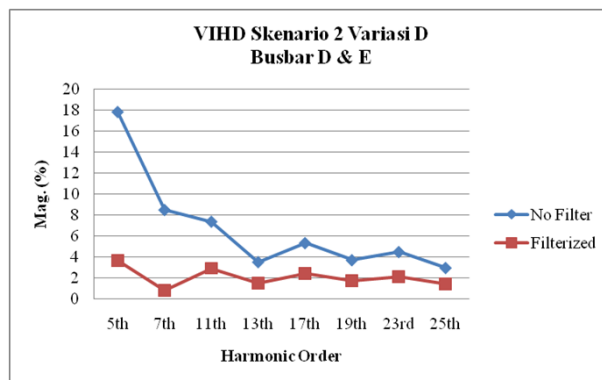
Grafik dibawah menunjukkan hasil simulasi sebelum dan setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi C pembebanan thruster:



Gambar 4.69 Grafik VIHD Skenario 2 Variasi C Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

d. Variasi D, kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 100% dengan beban *thruster*

Pada variasi D ini nilai VIHD orde ke-5 dan orde ke-7 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 14% menjadi 3.68% dan penurunan 7% menjadi 0.79% setelah pemasangan filter harmonisa pasif. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi D pembebanan thruster:

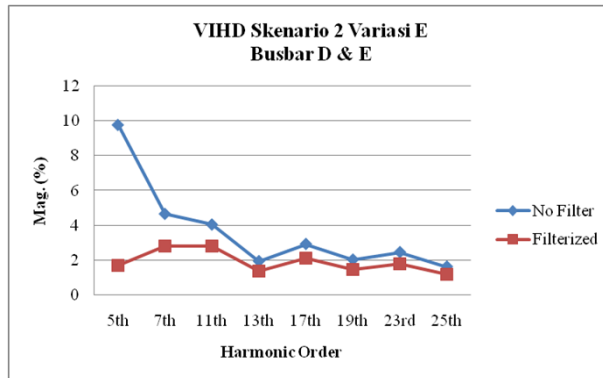


Gambar 4.70 Grafik VIHD Skenario 2 Variasi D Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

e. Variasi E, *bow thruster* dioperasikan pada daya 70% dan 40% dengan beban *thruster*

Setelah dilakukan pemasangan filter harmonisa pasif di busbar D dan E yang terhubung dengan sumber harmonisa secara langsung, nilai VIHD pada orde ke-5 untuk variasi E mengalami penurunan signifikan sebesar 8% menjadi 1.72%. Selain pada busbar D dan E, nilai VIHD pada busbar utama lainnya juga mengalami penurunan yang signifikan. Untuk nilai VIHD pada busbar lainnya terlampir pada lembar lampiran.

Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi E pembebanan thruster:



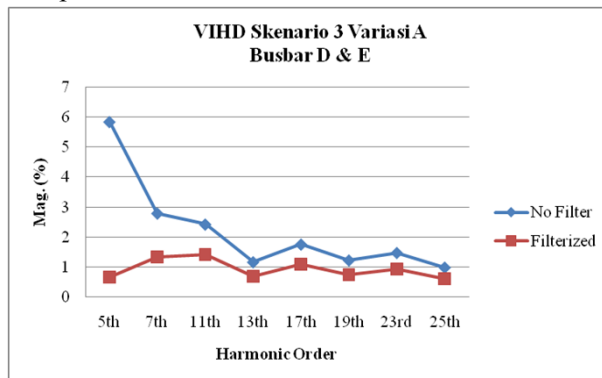
Gambar 4.71 Grafik VIHD Skenario 2 Variasi E Sebelum dan Sesudah dipasang Filter

4.11.3. Analisa Data dan Hasil Simulasi Harmonisa Setelah Pemasangan Filter pada Skenario 3 : *Closed Bus*

Pada skenario 3 disimulasikan jika 2 unit *bow thruster* disuplai oleh 1 unit *shaft generator* yang diparalelkan. Pada skenario ini *thruster* dioperasikan hanya sampai daya 50% saja dikarenakan suplai daya generator tidak mencukupi untuk daya *thruster* 100%. Pada pembahasan ini nilai VIHD yang ditampilkan hanya pada busbar D dan E dimana busbar tersebut terhubung secara langsung dengan sumber harmonisa terbesar yakni *variable frequency drive*. Berikut ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada 2 variasi pembebanan *thruster*:

a. Variasi A, Kedua bow thruster dioperasikan pada daya 20% dengan beban thruster

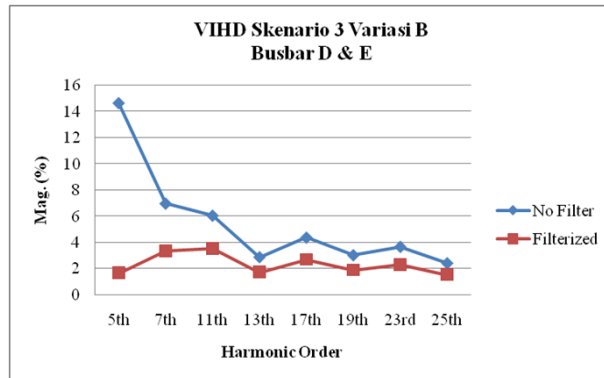
Pada variasi A ini nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 5% menjadi 0.67% setelah pemasangan filter harmonisa pasif. Untuk nilai VIHD pada busbar lainnya terlampir pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi A pembebanan thruster:



Gambar 4.72 Grafik VIHD Skenario 3 Variasi A Sebelum dan Sesudah dipasang Filter

b. Variasi B, Kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 50% dengan beban *thruster*

Pada variasi B ini nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 12.98% menjadi 1.68% setelah pemasangan filter harmonisa pasif. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi B pembebanan *thruster*:



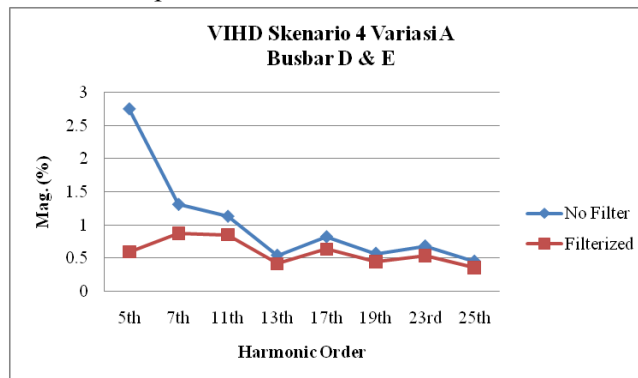
Gambar 4.73 Grafik VIHD Skenario 3 Variasi B Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

4.11.4. Analisa Data dan Hasil Simulasi Harmonisa Setelah Pemasangan Filter pada Skenario 4 : *Closed Bus*

Pada skenario 4 disimulasikan jika 2 unit *bow thruster* dan beban kelistrikan lainnya disuplai oleh 2 unit *shaft generator* dan 1 unit *diesel generator* yang diparalelkan. Berikut ini adalah nilai VIHD hasil simulasi setelah pemasangan filter pada 5 variasi pembebanan *thruster*:

a. Variasi A, Kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 20% dengan beban *thruster*

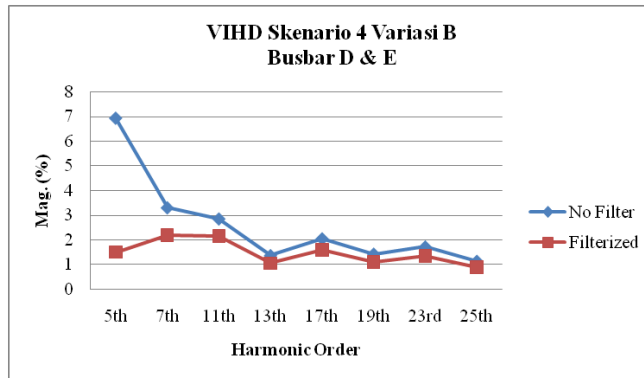
Pada variasi A ini nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 2% menjadi 0.59% setelah pemasangan filter harmonisa pasif. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi A pembebanan *thruster*:



Gambar 4.74 Grafik VIHD Skenario 4 Variasi A Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

b. Variasi B, Kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 50% dengan beban *thruster*

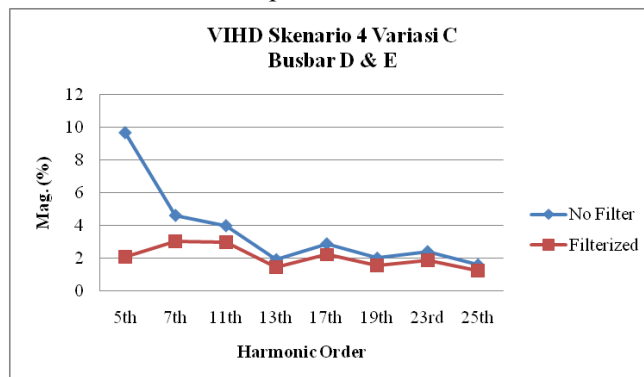
Pada variasi B ini nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 5.42% menjadi 1.49% setelah pemasangan filter harmonisa pasif. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi B pembebanan *thruster*:



Gambar 4.75 Grafik VIHD Skenario 4 Variasi B Sebelum dan Sesudah dipasang Filter

c. Variasi C, Kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 70% dengan beban *thruster*

Pada variasi C ini nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 7.6% menjadi 2.08% setelah pemasangan filter harmonisa pasif. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi C pembebanan *thruster*:

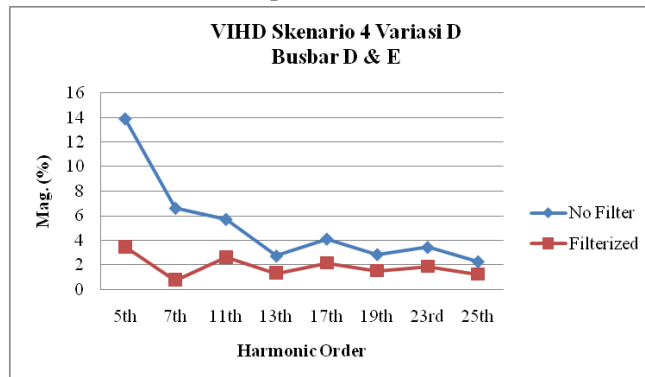


Gambar 4.76 Grafik VIHD Skenario 4 Variasi C Sebelum dan Sesudah dipasang Filter

d. Variasi D, Kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 100% dengan beban *thruster*

Pada variasi D ini nilai VIHD orde ke-5 dan orde ke-7 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 10% dan 5 menjadi 3.47% untuk orde ke-5 dan 0.77% untuk orde ke-7 setelah pemasangan filter harmonisa pasif. Untuk nilai VIHD pada busbar lainnya terlampir pada lembar lampiran.

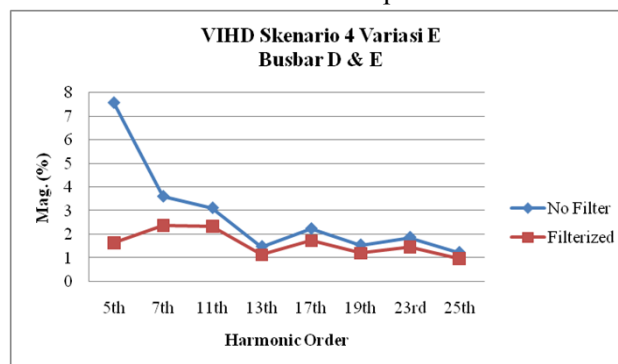
Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi D pembebanan *thruster*:



Gambar 4.77 Grafik VIHD Skenario 4 Variasi D Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

e. Variasi E, *bow thruster* dioperasikan pada daya 70% dan 40% dengan beban *thruster*

Pada variasi E ini nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 6% dan 5 menjadi 1.64% untuk orde ke-5 setelah pemasangan filter harmonisa pasif. Untuk nilai VIHD pada busbar lainnya terlampir pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi E pembebanan *thruster*:



Gambar 4.78 Grafik VIHD Skenario 4 Variasi E Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

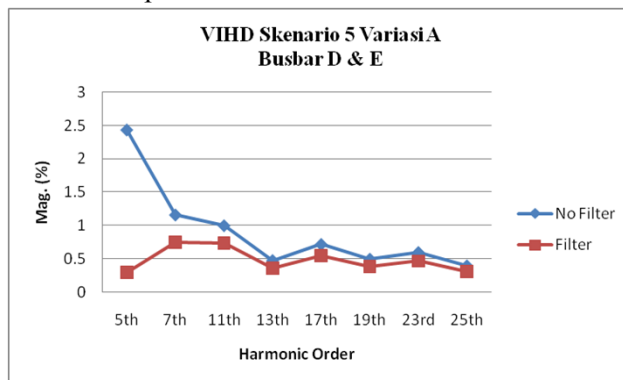
4.11.5. Analisa Data dan Hasil Simulasi Harmonisa Setelah Pemasangan Filter pada Skenario 5 : *Closed Bus*

Pada skenario 5 disimulasikan jika 2 unit *bow thruster* dan beban kelistrikan lainnya disuplai oleh 2 unit *shaft generator* dan 2 unit *diesel generator* yang diparalelkan. Daya yang dihasilkan oleh seluruh *generator* di skenario ini sebesar 2300kW untuk menyuplai beban dengan total 1434kW. Pada pembahasan ini nilai VIHD yang ditampilkan hanya pada busbar D dan E dimana busbar tersebut terhubung secara langsung dengan sumber harmonisa terbesar yakni *variable frequency drive*.

Berikut ini adalah nilai VIHD hasil simulasi konfigurasi skenario 5 setelah pemasangan filter pada 5 variasi pembebanan *thruster*:

a. Variasi A, kedua bow thruster dioperasikan pada daya 20% dengan beban thruster

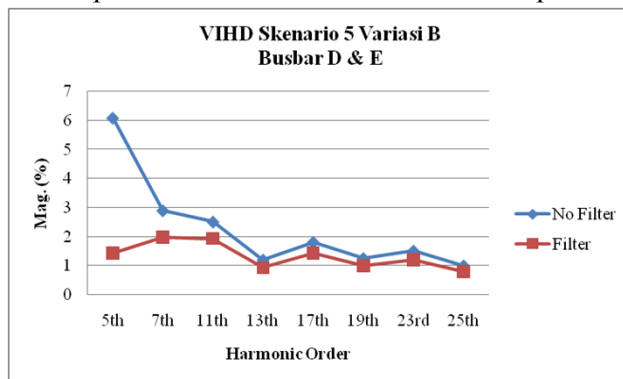
Pada variasi A ini nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 2% menjadi 0.3% setelah filter harmonisa pasif terpasang. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi A pembebanan *thruster*:



Gambar 4.79 Grafik VIHD Skenario 5 Variasi A Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

b. Variasi B, Kedua bow thruster dioperasikan pada daya 50% dengan beban thruster

Hasil simulasi variasi B menunjukkan nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 4% menjadi 1.44% setelah filter harmonisa pasif terpasang. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi sebelum dan setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi B pembebanan *thruster*:

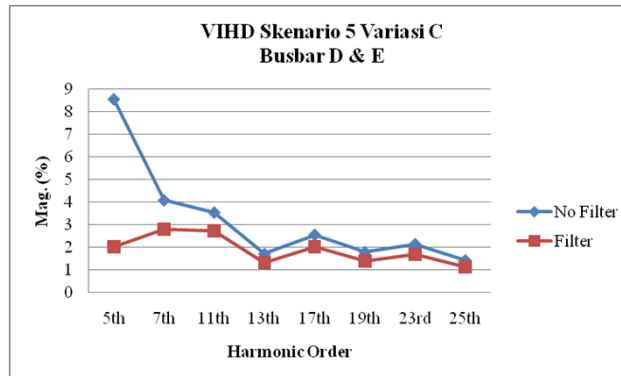


Gambar 4.80 Grafik VIHD Skenario 5 Variasi B Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

c. Variasi C, Kedua bow thruster dioperasikan pada daya 70% dengan beban thruster

Konfigurasi skenario 5 pada variasi ini diperoleh nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 6.5% menjadi 2.03% setelah filter harmonisa pasif terpasang.

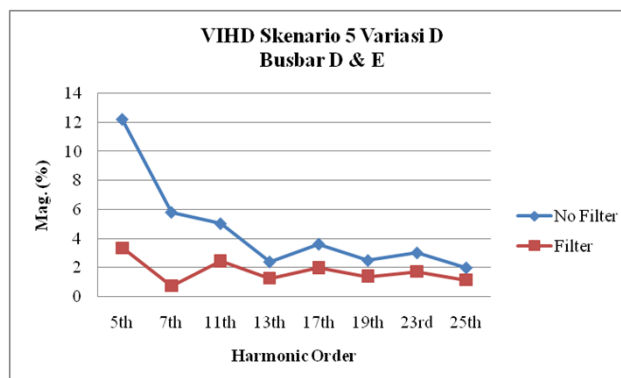
Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi sebelum dan setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi C pembebanan *thruster*:



Gambar 4.81 Grafik VIHD Skenario 5 Variasi A Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

d. Variasi D, Kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 100% dengan beban *thruster*

Hasil simulasi variasi D menunjukkan bahwa nilai VIHD orde ke-5 dan orde ke-7 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 8% dan 5% menjadi 3.36% untuk orde harmonisa ke-5 dan 0.76% untuk orde harmonisa ke-7 setelah filter harmonisa pasif terpasang. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi sebelum dan setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi D pembebanan *thruster*:

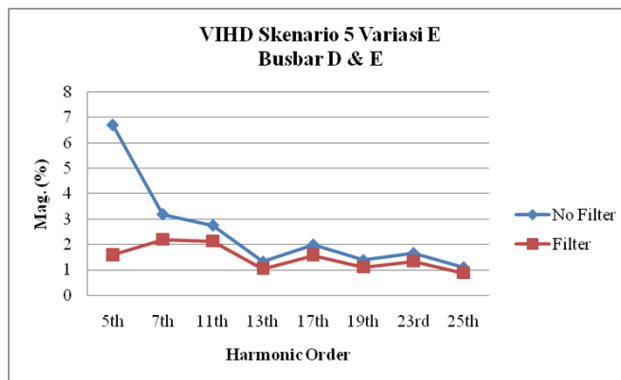


Gambar 4.82 Grafik VIHD Skenario 5 Variasi D Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

e. Variasi E, *bow thruster* dioperasikan pada daya 70% dan 40% dengan beban *thruster*

Dalam konfigurasi skenario 5 untuk variasi E dimana kedua *thruster* dioperasikan pada daya yang berbeda, diperoleh nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E yang terhubung dengan VFD sebagai sumber harmonisa terbesar ini mengalami penurunan sebesar 5% menjadi 1.59% setelah filter harmonisa pasif terpasang pada masing-masing busbar. Untuk nilai VIHD pada busbar lainnya terlampir pada lembar lampiran.

Grafik dibawah ini menunjukkan perbedaan nilai VIHD hasil simulasi sebelum dan setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi E pembebanan *thruster*:



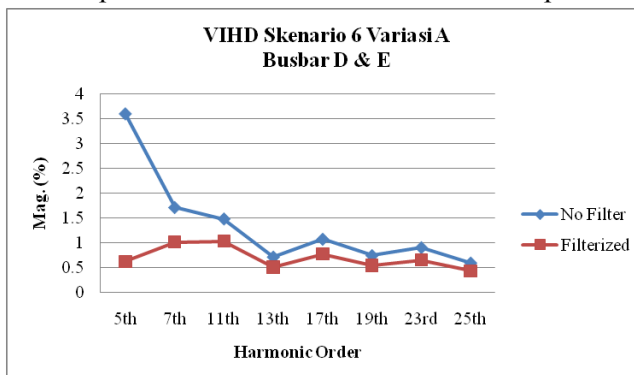
Gambar 4.83 Grafik VIHD Skenario 5 Variasi E Sebelum dan Sesudah dipasang Filter

4.11.6. Analisa Data dan Hasil Simulasi Harmonisa Setelah Pemasangan Filter pada Skenario 6 : Closed Bus

Skenario 6 atau skenario terakhir ini disimulasikan jikan 2 unit *bow thruster* dan beban *essential* atau beban-beban listrik penting lainnya yang dibutuhkan saat pengoperasian *bow thruster* disuplai oleh 2 *shaft generator* yang diparalel dengan 1 *diesel generator*. Pada pembahasan ini nilai VIHD yang ditampilkan hanya pada busbar D dan E dimana busbar tersebut terhubung secara langsung dengan sumber harmonisa terbesar yakni *variable frequency drive*. Berikut ini adalah nilai VIHD hasil simulasi konfigurasi skenario 5 setelah pemasangan filter pada 5 variasi pembebanan *thruster*:

a. Variasi A, kedua bow thruster dioperasikan pada daya 20% dengan beban kelistrikan *essential*

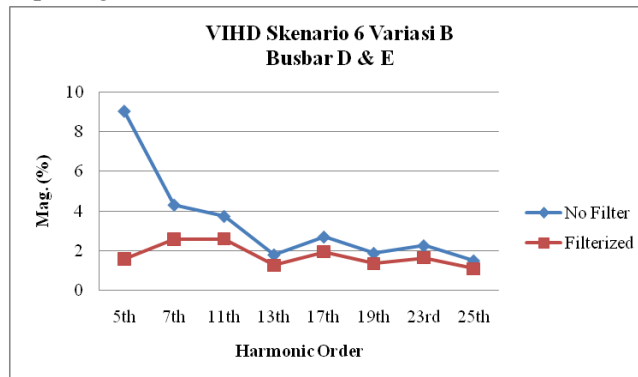
Hasil simulasi untuk nilai VIHD orde ke-5 pada variasi A di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 3% menjadi 0.62% setelah filter harmonisa pasif orde ke-5 terpasang. Grafik dibawah ini adalah hasil simulasi setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi A pembebanan *thruster*:



Gambar 4.84 Grafik VIHD Skenario 6 Variasi A Sebelum dan Sesudah dipasang Filter

b. Variasi B, kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 50% dengan beban kelistrikan *essential*

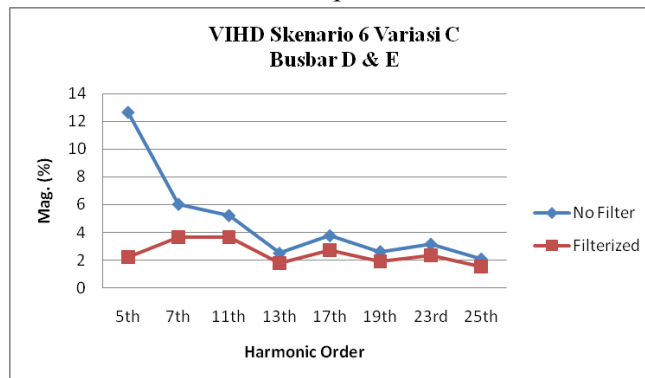
Pada konfigurasi skenario 6 variasi B ini diperoleh nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 7.5% menjadi 1.57% setelah filter harmonisa pasif terpasang. Perbandingan nilai hasil simulasi sebelum dan setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi B pembebanan *thruster* ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.85 Grafik VIHD Skenario 6 Variasi B Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

c. Variasi C, kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 70% dengan beban kelistrikan *essential*

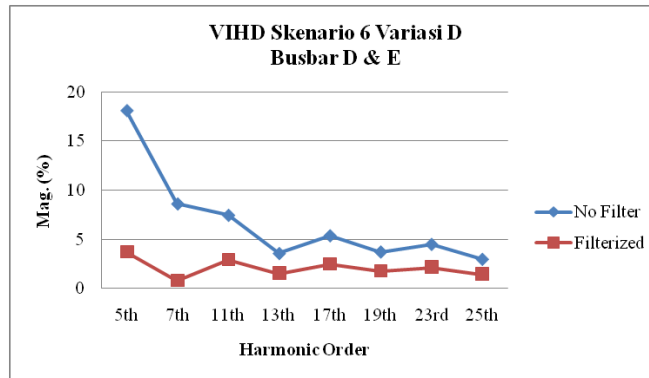
Hasil simulasi variasi C menunjukkan bahwa nilai VIHD orde ke-5 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 10.5% menjadi 2.2% untuk orde harmonisa ke-5 setelah filter harmonisa pasif orde ke-5 terpasang pada busbar D dan E. Selain terjadi penurunan pada busbar D dan E, nilai VIHD ini juga mengalami penurunan yang signifikan baik pada busbar F, G, H maupun pada busbar A dan B yang terhubung dengan generator utama. Untuk nilai VIHD pada busbar lainnya dapat dilihat pada lembar lampiran. Grafik dibawah ini adalah perbandingan nilai VIHD hasil simulasi sebelum dan setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi C pembebanan *thruster*:



Gambar 4.86 Grafik VIHD Skenario 6 Variasi C Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

d. Variasi D, Kedua *bow thruster* dioperasikan pada daya 100% dengan beban kelistrikan *essential*

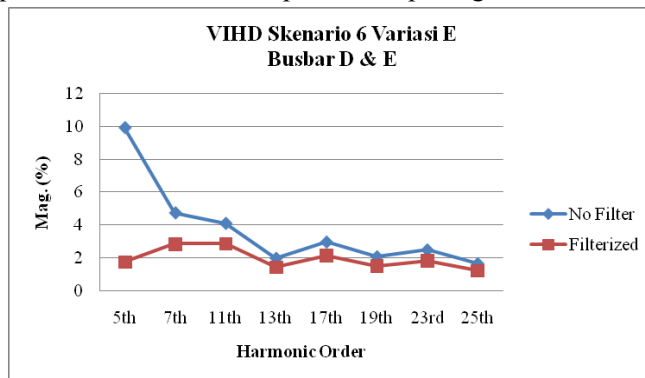
Nilai VIHD hasil simulasi variasi D menunjukkan bahwa pada orde harmonisa ke-5 dan orde ke-7 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 14.5% dan 7.8% menjadi 3.69% untuk orde harmonisa ke-5 dan 0.79% untuk orde harmonisa ke-7 setelah filter harmonisa pasif orde ke-5 dan 7 terpasang. Pemasangan 2 filter harmonisa pasif pada sistem yang dioperasikan dengan daya 20%, menyebabkan motor *thruster* akan mengalami *under exciter* setelah dilakukan *load flow analysis* pada *software* simulasi. Perbandingan nilai VIHD hasil simulasi sebelum dan setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi D pembebanan *thruster* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.87 Grafik VIHD Skenario 6 Variasi D Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

e. Variasi E, *bow thruster* dioperasikan pada daya 70% dan 40% dengan beban kelistrikan *essential*

Nilai VIHD hasil simulasi variasi E menunjukkan bahwa pada orde harmonisa ke-5 di busbar D dan E mengalami penurunan sebesar 8% menjadi sebesar 1.72% setelah filter harmonisa pasif orde ke-5 terpasang. Perbandingan nilai VIHD hasil simulasi sebelum dan setelah pemasangan filter pada busbar D dan E dalam variasi E pembebanan *thruster* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.88 Grafik VIHD Skenario 6 Variasi E Sebelum dan Sesudah dipasangkan Filter

4.12 Perbandingan 6 Skenario Konfigurasi Generator Terhadap Nilai VTHD yang dihasilkan

Pada simulasi ini terdapat 6 skenario konfigurasi generator yang memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar gangguan kualitas daya yang dihasilkan akibat di paralelkan-nya beberapa generator dan akibat di maksimalkannya penggunaan daya yang dihasilkan oleh generator terhadap beban-beban listrik pada kapal khususnya pada kapal dengan *dynamic positioning system*. Dari 6 skenario tersebut, 3 skenario konfigurasi generator berfungsi untuk menyuplai beban *bow thruster* saja, sedangkan pada 3 skenario konfigurasi generator lainnya berfungsi untuk menyuplai seluruh beban kelistrikan di kapal.

Dari hasil simulasi sebelum pemasangan filter dapat diketahui bila nilai VTHD pada variasi C atau pada saat masing-masing *thruster* dioperasikan dengan daya 50% untuk skenario 3 memiliki nilai terbesar yakni sebesar 18.9% diikuti dengan skenario 1 dan 2. Pada skenario 6 sebelum dilakukan pemasangan filter diketahui bila nilai VTHD-nya berada diatas nilai VTHD skenario 4 dan 5 yakni sebesar 11.61%. Pada tabel dibawah ini menunjukkan perbedaan nilai VTHD dari ke-6 skenario dengan data daya dan beban yang disuplai setiap skenario:

Tabel 4.7 Perbandingan Nilai VTHD 6 Skenario Konfigurasi Genereator pada Variasi C

VARIASI 50% - 50%					
Skenario	VTHD (%)	Daya Generator (kW)	Daya Beban (kW)	margin daya (kW)	Perbandingan
Beban Bow Thruster Saja					
Skenario 3	18.9	800	515	285	0.64375
Skenario 1	11.45	800	257.5	542.5	0.321875
Skenario 2	11.45	1600	515	1085	0.321875
Beban Bow Thruster + Kelistrikan					
Skenario 6	11.61	1500	693.887	600.113	0.4625913
Skenario 4	8.87	1950	919.387	824.613	0.4714805
Skenario 5	7.83	2300	919.387	1174.613	0.3997335

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa semakin besar nilai margin daya atau selisih antara daya generator dengan beban yang dimiliki pada setiap skenario maka nilai harmonisa yang dihasilkan juga semakin berkurang. Hal ini terlihat bahwa pada skenario 6 dengan margin daya 600kW memiliki nilai VTHD lebih tinggi dibanding skenario 5 yang memiliki margin daya sebesar 1,174 kW pada sistem.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi harmonisa pada sistem kelistrikan kapal AHTS BNI Castor dengan 6 skenario konfigurasi generator dengan menggunakan *software* simulasi dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai harmonisa yang dihasilkan akibat pengoperasian *thruster* elektrik saat pengoperasian sistem *dynamic positioning* memiliki nilai harmonisa total atau VTHD saat *thruster* dioperasikan 20% pada skenario 1 dan 2 ialah sebesar 4.57 %, pada skenario 3 sebesar 7.54%, pada skenario 4 sebesar 3.54%, pada skenario 5 ialah sebesar 3.13 dan pada skenario 6 sebesar 4.63%. Dari 6 skenario konfigurasi tersebut nilai VTHD yang dihasilkan dari pengoperasian *thruster* pada daya 20% memiliki nilai distorsi harmonisa dibawah batas maksimal yang ditetapkan oleh IEEE dan ABS yakni sebesar 8% untuk nilai VTHD. Nilai distorsi harmonisa pada sistem mulai melebihi batas ketika *thruster* dioperasikan dengan daya 50% dimana pada skenario 1 dan 2 diperoleh nilai VTHD sebesar 11.45%, pada skenario 3 sebesar 18.9%, pada skenario 4 ialah sebesar 8.87%, pada skenario 5 sebesar 7.83% dan pada skenario 6 sebesar 11.61%.
2. Pada simulasi ini dilakukan perancangan filter harmonisa pasif untuk mengurangi nilai distorsi harmonisa khususnya pada gelombang harmonisa orde ke-5 dan orde ke-7. Dari hasil simulasi diperoleh spesifikasi filter harmonisa pasif untuk orde ke-5 sebesar 1970 μ F untuk kapasitas kapasitor dan untuk besarnya induktor ialah sebesar 0.0698 H. Sedangkan filter harmonisa orde ke-7 yang digunakan untuk meredam harmonisa pada variasi pengoperasian *thruster* sebesar 100%, diperoleh spesifikasi sebesar 1970 μ F untuk kapasitas kapasitor dan untuk besarnya induktor ialah sebesar 0.0357 H.
3. Setelah dilakukan pemasangan filter harmonisa pasif, terjadi penurunan nilai total distorsi harmonisa dan nilai individual distorsi harmonisa pada setiap orde. Pada saat *thruster* dioperasikan dengan daya 100% masing-masing diperoleh penurunan nilai VTHD menjadi sebesar 6.35% pada skenario 1 dan 2, pada skenario 4 ialah sebesar 5.76%, pada skenario 5 sebesar 5.59% dan pada skenario 6 sebesar 6.38%.
4. Distorsi harmonisa yang muncul akibat pengoperasian VFD pada sistem selain dapat mendistorsi gelombang fundamental daripada sistem, dapat pula mengakibatkan terjadinya penurunan *power factor* pada sistem. Dari 3 skenario konfigurasi generator yang saling diparalelkan, diperoleh nilai PF yang mengalami penurunan seperti pada skenario 4 busbar A dan B dimana sebelum VFD dioperasikan, PF pada busbar tersebut sebesar 97.10% sedangkan setelah VFD dioperasikan nilai PF tadi mengalami penurunan menjadi sebesar 90.10% saja begitu pula pada skenario 5 dimana nilai PF awal sebesar 98.30% dan mengalami penurunan menjadi sebesar 94% serta pada skenario 5 dimana nilai PF busbar A dan B sebesar 99.4% dan terjadi penurunan PF menjadi sebesar 94.40%.

5. Jika pada umumnya kapal-kapal dengan sistem *dynamic positioning* menggunakan konfigurasi split bus dimana 1 *generator* berfungsi untuk memberikan daya pada 1 *thruster* namun pada penulisan ini dilakukan simulasi dengan memparalelkan *shaft generator* dengan *diesel generator* serta menghubungkan antara beban *bow thruster* dengan beban kelistrikan lainnya. Dari hasil simulasi ini diperoleh kesimpulan bahwa pada variasi operasional *thruster* yang sama, pada skenario 4, 5 dan 6 memiliki nilai VTHD yang lebih kecil dibanding dengan skenario 1, 2 dan 3 dimana *shaft generator* terpisah dengan *diesel generator*. Walaupun terdapat harmonisa pada konfigurasi tersebut, namun besarnya gangguan harmonisa tersebut dapat diatasi dengan pemasangan filter harmonisa pasif, sehingga pengoperasian sistem kelistrikan dengan konfigurasi paralel pada skenario 4, 5, 6 ini mungkin untuk diterapkan di lapangan karena selain dapat mengurangi emisi gas buang dari generator, dapat pula menghemat biaya investasi dan biaya pengoperasian dari generator-generator tersebut.

5.2 Saran

1. Menganalisa gangguan kualitas daya lainnya untuk mengetahui lebih lanjut dampak pengoperasian *thruster* pada sistem *dynamic positioning* dengan konfigurasi generator di paralelkan terhadap beban kelistrikan lain di kapal.
2. Untuk menganalisa lebih lanjut secara teknis dan ekonomis dampak dari pengoperasian beberapa konfigurasi generator terhadap emisi yang dihasilkan dan operasional-nya pada kapal

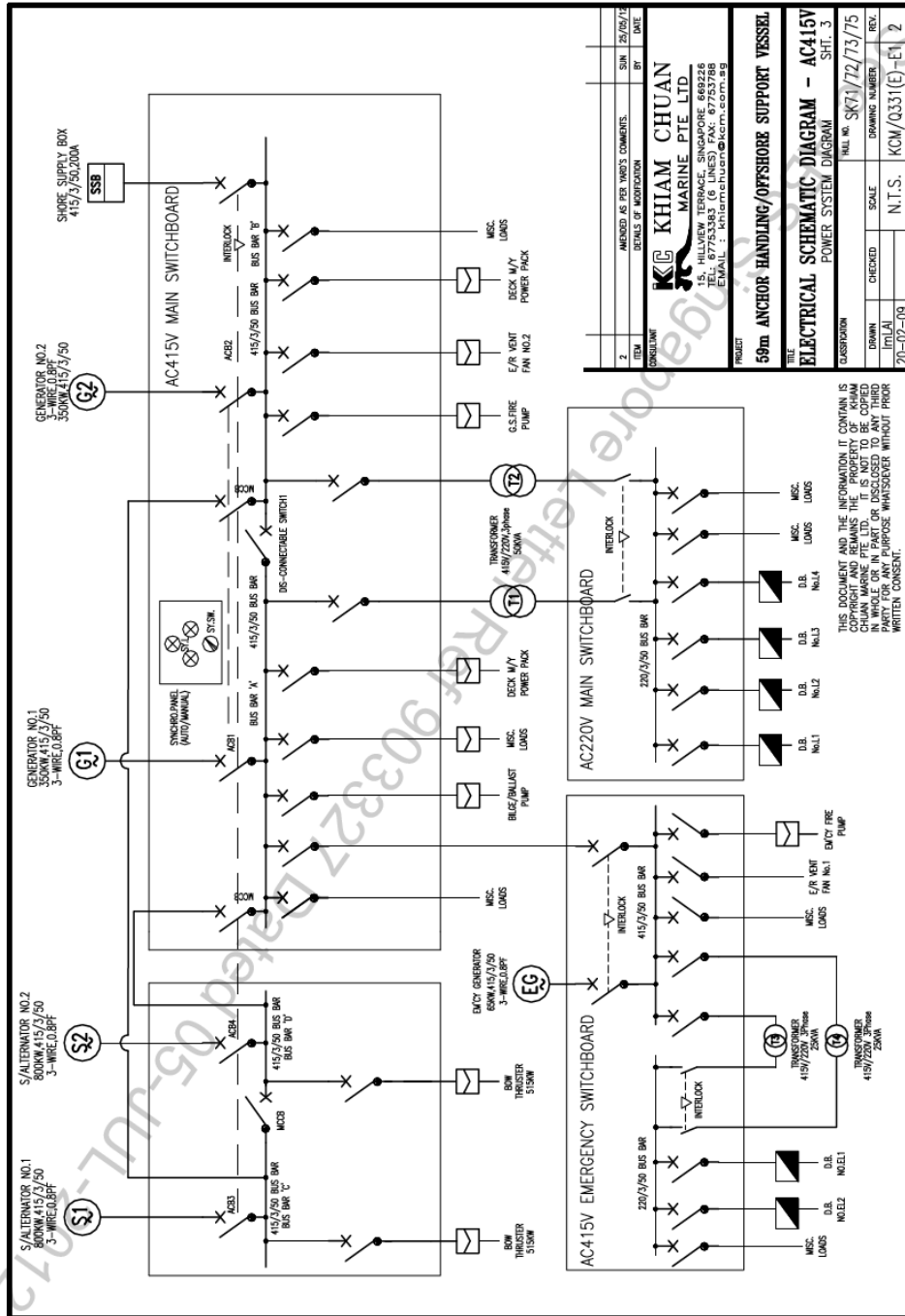
DAFTAR PUSTAKA

- Adnanes, A. K. (2003). *Maritime Electrical Installation and Diesel Electrical Propulsion*. Oslo: ABB AS.
- Adria Marie. (2008). *Course : Dynamic Positioning Basic*. Split.
- Alexander Kusko, M. T. (2007). Power Quality in Electrical Systems.
- Arifin, A., Pujiantara, M., & Mustofa, A. (2014). Perancangan Filter dengan Metode Multistage Passive Filter pada Proyek Pakistan Deep Water Container Port. *Teknik Elektro FTI-ITS*. Surabaya: ITS.
- Bayan, N. (1999). Harmonic Flow Analysis in Power Distribution Networks. *National Library of Canada* , 1-43.
- Chas, C. S., & Garcia, R. F. (2015). Introduction to Ship Dynamic Positioning Systems. *Journal of Maritime Research* , 81.
- Dynamic Positioning Committee. (2012). *DP Operation Guidance Part 2*. Washington: Marine Technology Soociety.
- Emblemsvag, D. L. (2012). *NORMAND OCEANIC DP OPERATIONS MANUAL*. Norwegia: Global Maritime.
- Holvik, J. (1998). Basic of Dynamic Positioining. *Dynamic Positioining Conference* , 1.
- IEEE STANDARD ASSOCIATION. (2014). *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. New York: IEEE.
- Kusko, A., & T.Thompson, M. (2007). *Power Quality in Electrical System*. New York: Mc Graw Hill.
- Mikkili, S., & Panda, A. K. (2016). *Power Quality Issues*. London: CRC Press.
- Ritchie, G. (2008). *Offshore Support Vessel : A Practical Gude*. London: Nautical Institute.
- Rokeberg, H. (1997). *DP Classification*. Houston: Marine Technology Society.
- Sean. (2009, August 25). *A Brief History of Dynamic Positioning*. Retrieved 1 12, 2018, from gcaptain: gcaptain.com
- Shipping, I. C. (1995). Ship to Ship Transfer Guide . In I. C. Shipping, *Ship to Ship Transfer Guide* (pp. 8-9). witherby.
- Sorensen, A. S. (1996). Design of a Dynamic Positioining System Using Model Based Control. *Journal of Control Engineering Practice* , 359- 368.
- Stavrou, D. I., & Ventikos, N. P. (2014). Ship to Ship Transfer of Cargo Operations: Risk. *Risk Analysis and Crisis Response* , 214-227.
- Steinbeck, J. (2017). *History of DP*. Retrieved 1 19, 2018, from dynamic positioning: dynamic-positioning.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

- Data Single Line Diagram Kelistrikan Kapal AHTS BNI CASTOR



- Data Electrical Load pada Kapal AHTS BNI Castor (1/4)

KCM/Q331(E)-E5(HULL No.SK60/61/62)

Document title:
Electrical Load Analysis

Contents:

Consumers on 220V ESB(Designload for 415/230V Emergency Transformer)
Consumers on 415V ESB
Consumers on 220V MSB(Designload for 415/230V Transformer)



Explanation of the Electrical Load Balance:

The abbreviation "L.F." means Load Factor and is actual a factor made up of the power efficiency of a consumer and the utilization of the same consumer,i.e., the relationship between the size of .e.g. an electrical motor and the power requirement.
The abbreviation "D.F." means Diversity Factor, and indicates the degree of probability of a consumer to run simultaneously with other consumers.

The following power sources/generators are available:

2 x 800Kw, 415V, 50Hz,diesel generator set.
2 x 350Kw, 415V, 50Hz,diesel generator set.
1 x 65Kw, 415V, 50Hz,diesel generator set.
1 x 200A, 415V, 50Hz shore connection.

Project:				SEA GOING				STAND-BY				CARGO LOAD/ DISCH. (HARBOUR)				DP-1 MANOEUVR. /FF/AHT				HARBOUR RESTING				EMERGENCY							
Ref.	SFI	No. off	Rated In W	L.F.	D.F.	No. In use	Load (W)	D.F.	No. In use	Load (W)	D.F.	No. In use	Load (W)	D.F.	No. In use	Load (W)	D.F.	No. In use	Load (W)	D.F.	No. In use	Load (W)	D.F.	No. In use	Load (W)	D.F.	No. In use	Load (W)			
CONSUMER																															
B201	DISTRIBUTION BOARD No.E1																														
B202	DISTRIBUTION BOARD No.E2																														
B203	NAVIGATION LIGHT PANEL																														
B204	EM'CY OUTSIDE LIGHTS																														
B205	GMDSS																														
B206	Miscellaneous Consumes																														
B207	24V DC EM'CY SWITCHBOARD																														
LOAD 220V ESB (transferred to 415V ESB)								9440								6034								8442				13196			
415/230V TRANSFORMERS AND LOAD IN %																															
2		25000		VA		1		47%		1		31%		1		30%		1		42%		1		23%		1		66%			
Average Power Factor of Consumers for Calculation of Transformer Load in %:																															
0.8																															

KCM/Q331(E)-E5(HULL No.SK/60/61/62)

KCM/Q331(E)-E5(HULL No.SK/60/61/62)KCM/Q331(E)-E5(HULL No.SK/60/61/62)KCM/Q331(E)-E5(HULL No.SK/60/61/62)

SEA GOING										STAND-BY				CARGO LOAD/DISCH. (HARBORCH.)				DP-1 MANOEVR. /AFFIAHT				HARBOUR RESTING				EMERGENCY				
Ref. SFI	CONSUMER		Rated In kW	L.F.	D.F.	No. In Use	Load (KW)	D.F.	No. In Use	D.F.	No. In Use	Load (KW)	D.F.	No. In Use	D.F.	No. In Use	Load (KW)	D.F.	No. In Use	Load (KW)	D.F.	No. In Use	Load (KW)	D.F.	No. In Use	Load (KW)	D.F.	No. In Use	Load (KW)	
	415/220V Transformer Board (220V MSB)		5000	kVA			34.8					33.2					33.0						34.3							
	415V Emergency Switch Board (from 415V ESS)						37.2					28.7					33.8						34.0							
A101	Reeler Sockets		2	2500	1.0	0.6	1	15.0	0.6	1	15.0	0.6	1	15.0	0.6	1	15.0	0.6	1	15.0	0.6	1	15.0	0.6	1	15.0	0.6	1	15.0	0.6
A102	Bulk Cement Compressor		2	7500	1.0																									
A103	Bulk Cement Compressor Cooling Pump		2	2.20	1.0												0.5	1	37.5	0.5	1	37.5	0.5	1	37.5	0.5	1	37.5	0.5	1
A104	Fresh Water Cargo Pump		1	5500	0.85												0.5	1	23.4	0.5	1	23.4	0.5	1	23.4	0.5	1	23.4	0.5	1
A105	Ballast/Bilge Pump		2	3000	0.85	0.1	1	2.6	0.1	1	2.6	0.1	1	2.6	0.1	1	2.6	0.1	1	2.6	0.1	1	2.6	0.1	1	2.6	0.1	1	2.6	0.1
A106	Fuel Oil Cargo Pump		1	7500	0.85												0.5	1	31.9	0.5	1	31.9	0.5	1	31.9	0.5	1	31.9	0.5	1
A107	Mud Pump		2	9500	0.85												0.5	2	81	0.5	2	81	0.5	2	81	0.5	2	81	0.5	2
A108	Bow Thruster Cooling Pump		2	0.55	1.00												0.5	2	0.6	0.5	2	0.6	0.5	2	0.6	0.5	2	0.6	0.5	2
A109	No.1 STARTER AIR COMPRESSOR		1	5.50	1.00	0.6	1	3.3	0.6	1	3.3	0.6	1	3.3	0.6	1	3.3	0.6	1	3.3	0.6	1	3.3	0.6	1	3.3	0.6	1	3.3	0.6
A110	POWER PACK FOR KARM FORK TOW FN		1	2000	0.8												0.5	1	8.0	0.5	1	8.0	0.5	1	8.0	0.5	1	8.0	0.5	1
A111	Deck Machinery Hydraulic Power Pack		3	9000	0.8												0.5	2	72.0	0.5	2	72.0	0.5	2	72.0	0.5	2	72.0	0.5	2
A112	Deck Machinery Hydraulic Power Pack		2	7.50	0.8												0.5	2	6.0	0.5	2	6.0	0.5							

- Data *Electrical Load* pada Kapal AHTS BNI Castor (4/4)

KCM/Q331(E)-E5(HULL No.SK60/61/62)

[illegible]

Project:	SEA GOING	STAND-BY	CARGO	DP-1	HARBOUR	EMERGENCY
			LOAD/DISCH. (HARBOR)	MANOEVR. /FIRIANT	RESTING	
59m MULTI-PURPOSE OFFSHORE SUPPLY/ ANCHOR HANDLING VESSEL	25/6	244	446	347	194	
LOAD 415V MSB						
LOAD 415V WALTERATORS			1030.0	1030.0		
LOAD 415V ESB (emergency operation)						57.64

DIESEL GENERATOR SETS WORKING AND LOAD IN %									
DIESEL GENERATOR SETS	2	800.00							
SHIFT GENERATORS									
DIESEL GENERATORS	2	350.00							
EMERGENCY GENERATOR	1	6500							

• Spesifikasi Variable Frequency Drive

ACS 600 SingleDrive

Technical table, three-phase supply voltage 380 V, 400 V or 415 V.

Type $U_N = 400 \text{ V}^1$	Normal use			Heavy-duty use			Pump and Fan use		Information for units and cabinets								
	I_N A	110% I_N A	P_N kW	I_{Nd} A	150% I_{Nd} A	200% I_{Nd} A	P_{Nd} kW	I_{Npq} A	P_{Npq} kW	Height mm	Width mm	Depth mm	Weight kg	Noise dBA	Heat loss kW	Air flow m³/h	Module type
ACS 601-0005-3	7.6	8.4	3	6.2	9.3	12.4	2.2	7.6	3	420	220	292	14	61.1	0.08	40	R2
ACS 601-0006-3	11	12	4	7.6	11	15.2	3	11	4	420	220	292	14	61.1	0.10	40	R2
ACS 601-0009-3	15	17	5.5	11	17	22	4	15	5.5	420	220	292	14	61.1	0.14	40	R2
ACS 601-0011-3	18	20	7.5	15	23	30	5.5	18	7.5	420	260	298	17.5	49.0	0.19	60	R3
ACS 601-0016-3	24	26	11	18	27	36	7.5	24	11	420	260	298	17.5	49.0	0.28	60	R3
ACS 601-0020-3	32	35	15	24	36	48	11	41	18.5	526	306	310	25	61.5	0.38	70	R4
ACS 601-0025-3	41	45	18.5	32	48	64	15	47	22	526	306	310	25	61.5	0.46	100	R4
ACS 601-0030-3	47	52	22	41	62	82	18.5	62	30	715	306	360	35	65.0	0.55	260	R5
ACS 601-0040-3	62	68	30	47	71	94	22	76	37	715	306	360	35	65.0	0.75	260	R5
ACS 601-0050-3	76	84	37	62	93	124	30	89	45	715	306	360	35	65.0	0.93	260	R5
ACS 601-0060-3	89	98	45	76	114	152	37	112	55	715	306	432	50	66.0	1.1	280	R6
ACS 601-0070-3	112	123	55	89	134	178	45	124	75 (60)	715	306	432	50	66.0	1.4	280	R6
ACS 601-0100-3 ⁹⁾	147	162	75	112	168	224	55	178	90	860	480	428	88	66.8	1.9	660	R7
ACS 601-0120-3 ⁹⁾	178	196	90	147	221	294	75	200	110 (100)	860	480	428	88	66.8	2.3	660	R7
ACS 601-0100-3	147	162	75	112	168	224	55	178	90	2080 ⁹⁾	830	644 ⁷⁾	280	66.8	1.9	660	R7
ACS 601-0120-3	178	196	90	147	221	294	75	200	110 (100)	2080 ⁹⁾	830	644 ⁷⁾	280	66.8	2.3	660	R7
ACS 601-0140-3	216	238	110	178	267	356	90	260	132	2080 ⁹⁾	830 ⁹⁾	644 ⁷⁾	360	61.8	2.8	1640	R8
ACS 601-0170-3	260	286	132	216	324	432	110	300	160	2080 ⁹⁾	830 ⁹⁾	644 ⁷⁾	370	61.8	3.3	1640	R8
ACS 601-0210-3	316	348	160	260	390	520	132	375	200	2080 ⁹⁾	830 ⁹⁾	644 ⁷⁾	370	61.8	4.0	1640	R8
ACS 601-0260-3	395	435	200	316	474	632	160	480	250	2080 ⁹⁾	830 ⁹⁾	644 ⁷⁾	400	67.6	5.0	1840	R9
ACS 601-0320-3	480	528	250	395	593	790	200	510	315 (265)	2080 ⁹⁾	830 ⁹⁾	644 ⁷⁾	400	67.6	6.3	1840	R9
ACS 601-0400-3	600	661	315	494	741	988	250	712	400	2080 ⁹⁾	2130 ⁹⁾	644 ⁷⁾	710	65	7.9	3580	2XR8
ACS 601-0510-3	912	1003	500	751	1127	1502	400	969	560	2080 ⁹⁾	2130 ⁹⁾	644 ⁷⁾	870	71	13	3980	2XR9
ACS 601-0610-3	1094	—	630	921	1201	1592	500	1094	630	2120 ⁹⁾	3630 ⁹⁾	644 ⁷⁾	1480	71	29	9080	B4+R11
ACS 601-0930-3	1336	—	710	1002	1503	1802	630	1336	710	2120 ⁹⁾	3630 ⁹⁾	644 ⁷⁾	1750	73	24	6930	B4+R12
ACS 601-1120-3	1624	—	900	1218	1827	2252	710	1624	900	2120 ⁹⁾	3630 ⁹⁾	644 ⁷⁾	1750	73	29	6930	B4+R12
ACS 601-1440-3	2079	—	1120	1559	2339	3002	900	2079	1120	2120 ⁹⁾	4030 ⁹⁾	644 ⁷⁾	2500	75	39	9790	B5+2xR11
ACS 601-1770-3	2558	—	1400	1919	2878	3602	1120	2558	1400	2120 ⁹⁾	5230 ⁹⁾	644 ⁷⁾	2800	76	47	13470	B5+2xR12
ACS 601-2140-3	3085	—	1750	2314	3471	4504	1400	3085	1750	2120 ⁹⁾	5230 ⁹⁾	644 ⁷⁾	2800	76	55	13470	B5+2xR12

Normal use:

I_N rated output current.

110% I_N short term overload current allowed for one minute every 5 minutes.

Heavy-duty use:

I_{Nd} rated output current.

150% I_{Nd} short term overload current allowed for one minute every 5 minutes.

200% I_{Nd} short term overload current.

For types from ACS 601-0005-3 to ACS 601-0610-3

2 seconds every 15 seconds (max. motor shaft power 1.5* P_{Nd}).

For types from ACS 601-0760-3 to ACS 601-2140-3

P_N , P_{Nd} , P_{Npq} rated motor power. The power ratings in kW apply to most 6-pole IEC 34 motors.

The current ratings are the same regardless of the supply voltages.

The rated current of the ACS 600 SingleDrive must be higher than or equal to the rated motor current to achieve the rated motor power given in the table.

Values in brackets give typically achieved motor power with I_{Npq} .

¹⁾ The power ratings are valid at nominal voltage (400 V).

⁹⁾ For RFI-filter additional 600 mm cabinet needed.

⁹⁾ For cable top exit and/or common motor connection terminal an additional 600 mm cabinet needed.

⁹⁾ IP 54 height differs.

⁷⁾ Max depth is 689 mm including door handle.

⁸⁾ Max depth is 731 mm including the flash barriers and door handle.

⁹⁾ IP 22 only.

¹⁰⁾ For RFI-filter additional 600 mm cabinet needed.

Note: The load capacity (current and power) decreases if the installation site altitude exceeds 1000 metres, or if the ambient temperature exceeds 40 °C.

ACS 601 has different load capacity derating for IP 54.

• Nilai VTHD Skenario 1 Variasi A (20%-20%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Project:	Tugas Akhir	ETAP	Page:	1
Location:	DTSP ITS	12.6.0H	Date:	26-06-2018
Contract:			SN:	
Engineer:	Yose Gregory Tarigan		Revision:	Base
Filename:	Simulasi Yose dengan Kabel	Study Case: Satu	Config.:	II

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund.	RMS	ASUM	THD	TIF	THHD	TSHD	THDG	THDS
		%	%	%	%		%	%	%	%
Bus 'D'	0.415	100.00	100.10	110.69	4.57	86.26	0.00	0.00	4.57	4.57
Bus 'E'	0.415	100.00	100.10	110.69	4.57	86.26	0.00	0.00	4.57	4.57
Cable5--	0.415	99.85	99.96	110.83	4.70	88.67	0.00	0.00	4.70	4.70
Cable7--	0.415	99.85	99.96	110.83	4.70	88.67	0.00	0.00	4.70	4.70

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VIHD Skenario 1 Variasi A (20%-20%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus Tabulation

Harmonic Voltages (% of Fundamental Voltage)

Bus ID: Bus 'D'																		
Fund. kV: 0.415																		
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	
5.00	250.00	3.54	7.00	350.00	1.69	11.00	550.00	1.47	13.00	650.00	0.70	17.00	850.00	1.06	19.00	950.00	0.74	
23.00	1150.00	0.89	25.00	1250.00	0.59													
Bus ID: Bus 'E'																		
Fund. kV: 0.415																		
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	
5.00	250.00	3.54	7.00	350.00	1.69	11.00	550.00	1.47	13.00	650.00	0.70	17.00	850.00	1.06	19.00	950.00	0.74	
23.00	1150.00	0.89	25.00	1250.00	0.59													
Bus ID: Bus7																		
Fund. kV: 0.415																		
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00	
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00													
Bus ID: Bus8																		
Fund. kV: 0.415																		
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00	
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00													

• Skenario 1 Variasi B (50%-50%) Nilai VTHD Hasil Simulasi Kondisi Awal

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'D'	0.415	100.00	100.65	126.78	11.45	214.94	0.00	0.00	11.45	11.45
# * Bus 'E'	0.415	100.00	100.65	126.78	11.45	214.94	0.00	0.00	11.45	11.45
* Cable5~	0.415	99.63	100.32	127.14	11.81	221.37	0.00	0.00	11.81	11.81
* Cable7~	0.415	99.63	100.32	127.14	11.81	221.37	0.00	0.00	11.81	11.81

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.
Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Skenario 1 Variasi B (50%-50%) Nilai VIHD Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus Tabulation

Harmonic Voltages (% of Fundamental Voltage)

Bus ID: Bus 'D'																		
Fund. kV: 0.415																		
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order
5.00	250.00	8.88	7.00	350.00	4.23	11.00	550.00	3.68	13.00	650.00	1.76	17.00	850.00	2.66	19.00	950.00	1.85	
23.00	1150.00	2.24	25.00	1250.00	1.48													
Bus ID: Bus 'E'																		
Fund. kV: 0.415																		
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order
5.00	250.00	8.88	7.00	350.00	4.23	11.00	550.00	3.68	13.00	650.00	1.76	17.00	850.00	2.66	19.00	950.00	1.85	
23.00	1150.00	2.24	25.00	1250.00	1.48													
Bus ID: Bus7																		
Fund. kV: 0.415																		
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00	
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00													
Bus ID: Bus8																		
Fund. kV: 0.415																		
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00	
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00													

• Skenario 1 Variasi C (70%-70%) Nilai VTHD Hasil Simulasi Kondisi Awal

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'D'	0.415	100.00	101.28	137.54	16.05	299.50	0.00	0.00	16.05	16.05
# * Bus 'E'	0.415	100.00	101.28	137.54	16.05	299.50	0.00	0.00	16.05	16.05
* Cable5~	0.415	99.48	100.84	138.05	16.59	308.79	0.00	0.00	16.59	16.59
* Cable7~	0.415	99.48	100.84	138.05	16.59	308.79	0.00	0.00	16.59	16.59

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.
Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Skenario 1 Variasi C (70%-70%) Nilai VIHD Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus Tabulation

Harmonic Voltages (% of Fundamental Voltage)

Bus ID:	Bus 'D'																
Fund. kV:	0.415																
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	12.45	7.00	350.00	5.94	11.00	550.00	5.15	13.00	650.00	2.47	17.00	850.00	3.73	19.00	950.00	2.59
23.00	1150.00	3.14	25.00	1250.00	2.08												
Bus ID:	Bus 'E'																
Fund. kV:	0.415																
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	12.45	7.00	350.00	5.94	11.00	550.00	5.15	13.00	650.00	2.47	17.00	850.00	3.73	19.00	950.00	2.59
23.00	1150.00	3.14	25.00	1250.00	2.08												
Bus ID:	Bus7																
Fund. kV:	0.415																
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												
Bus ID:	Bus8																
Fund. kV:	0.415																
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

• Nilai VTHD Skenario 1 Variasi D (100%-100%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THHD %	TSHD	THDG %	THDS %
* Bus 'D'	0.415	100.00	102.61	153.75	22.98	423.27	0.00	0.00	22.98	22.98
* Bus 'E'	0.415	100.00	102.61	153.75	22.98	423.27	0.00	0.00	22.98	22.98
* Cable5~	0.415	99.26	102.03	154.49	23.80	436.96	0.00	0.00	23.80	23.80
* Cable7~	0.415	99.26	102.03	154.49	23.80	436.96	0.00	0.00	23.80	23.80

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Harmonic Voltages (% of Fundamental Voltage)

• Nilai VTHD Skenario 2 Variasi A (20%-20%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'D'	0.415	100.00	100.10	110.69	4.57	86.26	0.00	0.00	4.57	4.57
Bus 'E'	0.415	100.00	100.10	110.69	4.57	86.26	0.00	0.00	4.57	4.57
Cable5~	0.415	99.85	99.96	110.83	4.70	88.67	0.00	0.00	4.70	4.70
Cable7~	0.415	99.85	99.96	110.83	4.70	88.67	0.00	0.00	4.70	4.70
* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.										
* Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.										

• Nilai VIHD Skenario 2 Variasi A (20%-20%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Harmonic Voltages (% of Fundamental Voltage)

Bus ID: Bus 'D'																	
Fund. KV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	3.54	7.00	350.00	1.69	11.00	550.00	1.47	13.00	650.00	0.70	17.00	850.00	1.06	19.00	950.00	0.74
23.00	1150.00	0.89	25.00	1250.00	0.59												
Bus ID: Bus 'E'																	
Fund. KV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	3.54	7.00	350.00	1.69	11.00	550.00	1.47	13.00	650.00	0.70	17.00	850.00	1.06	19.00	950.00	0.74
23.00	1150.00	0.89	25.00	1250.00	0.59												
Bus ID: Bus7																	
Fund. KV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												
Bus ID: Bus8																	
Fund. KV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

• Nilai VTHD Skenario 2 Variasi B (50%-50%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'D'	0.415	100.00	100.65	126.78	11.45	214.94	0.00	0.00	11.45	11.45
# * Bus 'E'	0.415	100.00	100.65	126.78	11.45	214.94	0.00	0.00	11.45	11.45
* Cable5~	0.415	99.63	100.32	127.14	11.81	221.37	0.00	0.00	11.81	11.81
* Cable7~	0.415	99.63	100.32	127.14	11.81	221.37	0.00	0.00	11.81	11.81

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VIHD Skenario 2 Variasi B (50%-50%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus Tabulation

Harmonic Voltages (% of Fundamental Voltage)

Bus ID: Bus 'D'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	8.88	7.00	350.00	4.23	11.00	550.00	3.68	13.00	650.00	1.76	17.00	850.00	2.66	19.00	950.00	1.85
23.00	1150.00	2.24	25.00	1250.00	1.48												
Bus ID: Bus 'E'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	8.88	7.00	350.00	4.23	11.00	550.00	3.68	13.00	650.00	1.76	17.00	850.00	2.66	19.00	950.00	1.85
23.00	1150.00	2.24	25.00	1250.00	1.48												
Bus ID: Bus7																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												
Bus ID: Bus8																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

• Nilai VTHD Skenario 2 Variasi C (70%-70%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'D'	0.415	100.00	101.28	137.54	16.05	299.50	0.00	0.00	16.05	16.05
# * Bus 'E'	0.415	100.00	101.28	137.54	16.05	299.50	0.00	0.00	16.05	16.05
* Cable5~	0.415	99.48	100.84	138.05	16.59	308.79	0.00	0.00	16.59	16.59
* Cable7~	0.415	99.48	100.84	138.05	16.59	308.79	0.00	0.00	16.59	16.59

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VTHD Skenario 2 Variasi E (70%-40%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'D'	0.415	100.00	100.79	129.47	12.60	236.27	0.00	0.00	12.60	12.60
# * Bus 'E'	0.415	100.00	100.79	129.47	12.60	236.27	0.00	0.00	12.60	12.60
* Cable5~	0.415	99.48	100.34	130.05	13.14	245.82	0.00	0.00	13.14	13.14
* Cable7~	0.415	99.70	100.53	129.71	12.87	241.00	0.00	0.00	12.87	12.87

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VIHD Skenario 2 Variasi E (70%-40%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	9.78	7.00	350.00	4.66	11.00	550.00	4.05	13.00	650.00	1.94	17.00	850.00	2.93	19.00	950.00	2.03
23.00	1150.00	2.46	25.00	1250.00	1.63												

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	9.78	7.00	350.00	4.66	11.00	550.00	4.05	13.00	650.00	1.94	17.00	850.00	2.93	19.00	950.00	2.03
23.00	1150.00	2.46	25.00	1250.00	1.63												

Bus ID: Bus7

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

Bus ID: Bus8

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

• Nilai VTHD Skenario 3 Variasi A (20%-20%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# Bus 'D'	0.415	100.00	100.28	117.64	7.54	142.15	0.00	0.00	7.54	7.54
# Bus 'E'	0.415	100.00	100.28	117.64	7.54	142.15	0.00	0.00	7.54	7.54
* Cable5~	0.415	99.85	100.15	117.74	7.66	144.24	0.00	0.00	7.66	7.66
* Cable7~	0.415	99.85	100.15	117.74	7.66	144.24	0.00	0.00	7.66	7.66

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VIHD Skenario 3 Variasi A (20%-20%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'D'																	
Fund. KV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	5.85	7.00	350.00	2.79	11.00	550.00	2.42	13.00	650.00	1.16	17.00	850.00	1.75	19.00	950.00	1.22
23.00	1150.00	1.47	25.00	1250.00	0.98												
Bus ID: Bus 'E'																	
Fund. KV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	5.85	7.00	350.00	2.79	11.00	550.00	2.42	13.00	650.00	1.16	17.00	850.00	1.75	19.00	950.00	1.22
23.00	1150.00	1.47	25.00	1250.00	0.98												
Bus ID: Bus7																	
Fund. KV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												
Bus ID: Bus8																	
Fund. KV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

• Nilai VTHD Skenario 3 Variasi B (50%-50%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

System Harmonics Bus Information										
Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# Bus 'D'	0.415	100.00	101.77	144.21	18.90	350.96	0.00	0.00	18.90	18.90
# Bus 'E'	0.415	100.00	101.77	144.21	18.90	350.96	0.00	0.00	18.90	18.90
* Cable5~	0.415	99.63	101.46	144.44	19.24	356.72	0.00	0.00	19.24	19.24
* Cable7~	0.415	99.63	101.46	144.44	19.24	356.72	0.00	0.00	19.24	19.24

• Nilai VIHD Skenario 3 Variasi B (50%-50%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

[illegible]

• Nilai VTHD Skenario 4 Variasi A (20%-20%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.06	108.25	3.54	66.01	0.00	0.00	3.54	3.54
Bus 'B'	0.415	100.00	100.06	108.25	3.54	66.01	0.00	0.00	3.54	3.54
Bus 'D'	0.415	100.00	100.06	108.25	3.54	66.01	0.00	0.00	3.54	3.54
Bus 'E'	0.415	100.00	100.06	108.25	3.54	66.01	0.00	0.00	3.54	3.54
Bus 'F'	0.220	98.48	98.52	104.36	3.00	30.91	0.00	0.00	3.00	3.00
Bus G	0.415	100.00	100.06	108.25	3.54	66.01	0.00	0.00	3.54	3.54
Bus H	0.415	100.00	100.06	108.25	3.54	66.01	0.00	0.00	3.54	3.54

• Nilai VIHD Skenario 4 Variasi A (20%-20%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'A'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'B'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'F'

Fund. kV: 0.217

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	2.56	7.00	350.00	1.14	11.00	550.00	0.82	13.00	650.00	0.35	17.00	850.00	0.43	19.00	950.00	0.27
23.00	1150.00	0.26	25.00	1250.00	0.15												

Bus ID: Bus G

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus H

Fund. kV: 0.415

[illegible]

• Nilai VTHD Skenario 4 Variasi B (50%-50%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'A'	0.415	100.00	100.39	120.68	8.87	164.85	0.00	0.00	8.87	8.87
# * Bus 'B'	0.415	100.00	100.39	120.68	8.87	164.85	0.00	0.00	8.87	8.87
# * Bus 'D'	0.415	100.00	100.39	120.68	8.87	164.85	0.00	0.00	8.87	8.87
# * Bus 'E'	0.415	100.00	100.39	120.68	8.87	164.85	0.00	0.00	8.87	8.87
# Bus 'F'	0.220	98.48	98.75	113.22	7.51	77.26	0.00	0.00	7.51	7.51
# * Bus 'G'	0.415	100.00	100.39	120.68	8.87	164.85	0.00	0.00	8.87	8.87
# * Bus 'H'	0.415	100.00	100.39	120.68	8.87	164.85	0.00	0.00	8.87	8.87

• Nilai VIHD Skenario 4 Variasi B (50%-50%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'A'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'B'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'F'

Fund. kV: 0.217

[illegible]

Bus ID: Bus G

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus H

Fund. kV: 0.415

[illegible]

• Nilai VTHD Skenario 4 Variasi C (70%-70%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'A'	0.415	100.00	100.77	129.00	12.44	230.27	0.00	0.00	12.44	12.44
# * Bus 'B'	0.415	100.00	100.77	129.00	12.44	230.27	0.00	0.00	12.44	12.44
# * Bus 'D'	0.415	100.00	100.77	129.00	12.44	230.27	0.00	0.00	12.44	12.44
# * Bus 'E'	0.415	100.00	100.77	129.00	12.44	230.27	0.00	0.00	12.44	12.44
# * Bus 'F'	0.220	98.48	99.02	119.15	10.53	108.03	0.00	0.00	10.53	10.53
# * Bus G	0.415	100.00	100.77	129.00	12.44	230.27	0.00	0.00	12.44	12.44
# * Bus H	0.415	100.00	100.77	129.00	12.44	230.27	0.00	0.00	12.44	12.44

• Nilai VIHD Skenario 4 Variasi C (70%-70%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'A'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'B'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'F'

Fund. kV: 0.217

[illegible]

Bus ID: Bus G

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus H

Fund. kV: 0.415

[illegible]

• Nilai VTHD Skenario 4 Variasi D (100%-100%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'A'	0.415	100.00	101.57	141.52	17.82	327.09	0.00	0.00	17.82	17.82
# * Bus 'B'	0.415	100.00	101.57	141.52	17.82	327.09	0.00	0.00	17.82	17.82
# * Bus 'D'	0.415	100.00	101.57	141.52	17.82	327.09	0.00	0.00	17.82	17.82
# * Bus 'E'	0.415	100.00	101.57	141.52	17.82	327.09	0.00	0.00	17.82	17.82
# * Bus 'F'	0.220	98.48	99.59	128.07	15.07	153.79	0.00	0.00	15.07	15.07
# * Bus G	0.415	100.00	101.57	141.52	17.82	327.09	0.00	0.00	17.82	17.82
# * Bus H	0.415	100.00	101.57	141.52	17.82	327.09	0.00	0.00	17.82	17.82

• Nilai VIHD Skenario 4 Variasi D (100%-100%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'A'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'B'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'F'

Fund. kV: 0.217

[illegible]

Bus ID: Bus G

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus H

Fund. kV: 0,415

[illegible]

• Nilai VTHD Skenario 4 Variasi E (70%-40%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'A'	0.415	100.00	100.48	122.76	9.77	181.31	0.00	0.00	9.77	9.77
# * Bus 'B'	0.415	100.00	100.48	122.76	9.77	181.31	0.00	0.00	9.77	9.77
# * Bus 'D'	0.415	100.00	100.48	122.76	9.77	181.31	0.00	0.00	9.77	9.77
# * Bus 'E'	0.415	100.00	100.48	122.76	9.77	181.31	0.00	0.00	9.77	9.77
# * Bus 'F'	0.220	98.48	98.81	114.70	8.26	84.99	0.00	0.00	8.26	8.26
# * Bus G	0.415	100.00	100.48	122.76	9.77	181.31	0.00	0.00	9.77	9.77
# * Bus H	0.415	100.00	100.48	122.76	9.77	181.31	0.00	0.00	9.77	9.77

• Nilai VIHD Skenario 4 Variasi E (70%-40%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'A'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'B'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'F'

Fund. kV: 0.217

[illegible]

Bus ID: Bus G

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus H

Fund. kV: 0.415

[illegible]

• Nilai VTHD Skenario 5 Variasi A (20%-20%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.05	107.29	3.13	58.41	0.00	0.00	3.13	3.13
Bus 'B'	0.415	100.00	100.05	107.29	3.13	58.41	0.00	0.00	3.13	3.13
Bus 'D'	0.415	100.00	100.05	107.29	3.13	58.41	0.00	0.00	3.13	3.13
Bus 'E'	0.415	100.00	100.05	107.29	3.13	58.41	0.00	0.00	3.13	3.13
Bus 'F'	0.220	98.48	98.51	103.67	2.64	27.33	0.00	0.00	2.64	2.64
Bus G	0.415	100.00	100.05	107.29	3.13	58.41	0.00	0.00	3.13	3.13
Bus H	0.415	100.00	100.05	107.29	3.13	58.41	0.00	0.00	3.13	3.13

• Nilai VIHD Skenario 5 Variasi A (20%-20%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID:	Bus 'A'																
Fund. kV:	0.415																
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	2.43	7.00	350.00	1.16	11.00	550.00	1.00	13.00	650.00	0.48	17.00	850.00	0.72	19.00	950.00	0.50
23.00	1150.00	0.60	25.00	1250.00	0.40												
Bus ID:	Bus 'B'																
Fund. kV:	0.415																
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	2.43	7.00	350.00	1.16	11.00	550.00	1.00	13.00	650.00	0.48	17.00	850.00	0.72	19.00	950.00	0.50
23.00	1150.00	0.60	25.00	1250.00	0.40												
Bus ID:	Bus 'D'																
Fund. kV:	0.415																
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	2.43	7.00	350.00	1.16	11.00	550.00	1.00	13.00	650.00	0.48	17.00	850.00	0.72	19.00	950.00	0.50
23.00	1150.00	0.60	25.00	1250.00	0.40												
Bus ID:	Bus 'E'																
Fund. kV:	0.415																
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	2.43	7.00	350.00	1.16	11.00	550.00	1.00	13.00	650.00	0.48	17.00	850.00	0.72	19.00	950.00	0.50
23.00	1150.00	0.60	25.00	1250.00	0.40												
Bus ID:	Bus 'F'																
Fund. kV:	0.217																
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	2.26	7.00	350.00	1.00	11.00	550.00	0.72	13.00	650.00	0.31	17.00	850.00	0.38	19.00	950.00	0.24
23.00	1150.00	0.23	25.00	1250.00	0.14												
Bus ID:	Bus G																
Fund. kV:	0.415																
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	2.43	7.00	350.00	1.16	11.00	550.00	1.00	13.00	650.00	0.48	17.00	850.00	0.72	19.00	950.00	0.50
23.00	1150.00	0.60	25.00	1250.00	0.40												
Bus ID:	Bus H																
Fund. kV:	0.415																
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	2.43	7.00	350.00	1.16	11.00	550.00	1.00	13.00	650.00	0.48	17.00	850.00	0.72	19.00	950.00	0.50
23.00	1150.00	0.60	25.00	1250.00	0.40												

• Nilai VTHD Skenario 5 Variasi B (50%-50%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion									
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THHD %	TSHD %	THDG %	THDS %	
#	Bus 'A'	0.415	100.00	100.31	118.26	7.83	145.97	0.00	0.00	7.83	7.83
#	Bus 'B'	0.415	100.00	100.31	118.26	7.83	145.97	0.00	0.00	7.83	7.83
#	Bus 'D'	0.415	100.00	100.31	118.26	7.83	145.97	0.00	0.00	7.83	7.83
#	Bus 'E'	0.415	100.00	100.31	118.26	7.83	145.97	0.00	0.00	7.83	7.83
#	Bus 'F'	0.220	98.48	98.69	111.49	6.62	68.35	0.00	0.00	6.62	6.62
#	Bus G	0.415	100.00	100.31	118.26	7.83	145.97	0.00	0.00	7.83	7.83
#	Bus H	0.415	100.00	100.31	118.26	7.83	145.97	0.00	0.00	7.83	7.83

• Nilai VIHD Skenario 5 Variasi B (50%-50%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'A'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	6.09	7.00	350.00	2.90	11.00	550.00	2.51	13.00	650.00	1.20	17.00	850.00	1.81	19.00	950.00	1.25
23.00	1150.00	1.51	25.00	1250.00	1.00												
Bus ID: Bus 'B'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	6.09	7.00	350.00	2.90	11.00	550.00	2.51	13.00	650.00	1.20	17.00	850.00	1.81	19.00	950.00	1.25
23.00	1150.00	1.51	25.00	1250.00	1.00												
Bus ID: Bus 'D'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	6.09	7.00	350.00	2.90	11.00	550.00	2.51	13.00	650.00	1.20	17.00	850.00	1.81	19.00	950.00	1.25
23.00	1150.00	1.51	25.00	1250.00	1.00												
Bus ID: Bus 'E'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	6.09	7.00	350.00	2.90	11.00	550.00	2.51	13.00	650.00	1.20	17.00	850.00	1.81	19.00	950.00	1.25
23.00	1150.00	1.51	25.00	1250.00	1.00												
Bus ID: Bus 'F'																	
Fund. kV: 0.217																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	5.65	7.00	350.00	2.51	11.00	550.00	1.82	13.00	650.00	0.78	17.00	850.00	0.95	19.00	950.00	0.59
23.00	1150.00	0.57	25.00	1250.00	0.34												
Bus ID: Bus G																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	6.09	7.00	350.00	2.90	11.00	550.00	2.51	13.00	650.00	1.20	17.00	850.00	1.81	19.00	950.00	1.25
23.00	1150.00	1.51	25.00	1250.00	1.00												
Bus ID: Bus H																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	6.09	7.00	350.00	2.90	11.00	550.00	2.51	13.00	650.00	1.20	17.00	850.00	1.81	19.00	950.00	1.25
23.00	1150.00	1.51	25.00	1250.00	1.00												

• Nilai VIHD Skenario 5 Variasi C (70%-70%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

[illegible]

• Nilai VTHD Skenario 5 Variasi E (70%-40%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'A'	0.415	100.00	100.37	120.10	8.62	160.57	0.00	0.00	8.62	8.62
# * Bus 'B'	0.415	100.00	100.37	120.10	8.62	160.57	0.00	0.00	8.62	8.62
# * Bus 'D'	0.415	100.00	100.37	120.10	8.62	160.57	0.00	0.00	8.62	8.62
# * Bus 'E'	0.415	100.00	100.37	120.10	8.62	160.57	0.00	0.00	8.62	8.62
# Bus 'F'	0.220	98.48	98.74	112.80	7.29	75.21	0.00	0.00	7.29	7.29
# * Bus G	0.415	100.00	100.37	120.10	8.62	160.57	0.00	0.00	8.62	8.62
# * Bus H	0.415	100.00	100.37	120.10	8.62	160.57	0.00	0.00	8.62	8.62

• Nilai VIHD Skenario 5 Variasi E (70%-40%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'A'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'B'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'F'

Fund. kV: 0.217

[illegible]

Bus ID: Bus G

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus H

Fund. kV: 0.415

[illegible]

• Nilai VTHD Skenario 6 Variasi A (20%-20%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THHD %	TSHD	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.11	110.81	4.63	86.65	0.00	0.00	4.63	4.63
Bus 'B'	0.415	100.00	100.11	110.81	4.63	86.65	0.00	0.00	4.63	4.63
Bus 'D'	0.415	100.00	100.11	110.81	4.63	86.65	0.00	0.00	4.63	4.63
Bus 'E'	0.415	100.00	100.11	110.81	4.63	86.65	0.00	0.00	4.63	4.63
Bus 'F'	0.220	98.48	98.55	106.17	3.92	40.54	0.00	0.00	3.92	3.92
Bus G	0.415	100.00	100.11	110.81	4.63	86.65	0.00	0.00	4.63	4.63
Bus H	0.415	100.00	100.11	110.81	4.63	86.65	0.00	0.00	4.63	4.63

• Nilai VIHD Skenario 6 Variasi A (20%-20%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'A'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	3.60	7.00	350.00	1.71	11.00	550.00	1.48	13.00	650.00	0.71	17.00	850.00	1.07
23.00	1150.00	0.90	25.00	1250.00	0.59									

Bus ID: Bus 'B'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	3.60	7.00	350.00	1.71	11.00	550.00	1.48	13.00	650.00	0.71	17.00	850.00	1.07
23.00	1150.00	0.90	25.00	1250.00	0.59							19.00	950.00	0.74

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	3.60	7.00	350.00	1.71	11.00	550.00	1.48	13.00	650.00	0.71	17.00	850.00	1.07
23.00	1150.00	0.90	25.00	1250.00	0.59							19.00	950.00	0.74

Bus ID: Bus 'F'

Fund. kV: 0.217

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	3.34	7.00	350.00	1.48	11.00	550.00	1.07	13.00	650.00	0.46	17.00	850.00	0.56
23.00	1150.00	0.34	25.00	1250.00	0.20							19.00	950.00	0.35

Bus ID: Bus G

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus H

Fund. kV: 0.415

[illegible]

• Nilai VTHD Skenario 6 Variasi B (50%-50%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'A'	0.415	100.00	100.67	127.08	11.61	215.90	0.00	0.00	11.61	11.61
# * Bus 'B'	0.415	100.00	100.67	127.08	11.61	215.90	0.00	0.00	11.61	11.61
# * Bus 'D'	0.415	100.00	100.67	127.08	11.61	215.90	0.00	0.00	11.61	11.61
# * Bus 'E'	0.415	100.00	100.67	127.08	11.61	215.90	0.00	0.00	11.61	11.61
# * Bus 'F'	0.220	98.48	98.95	117.76	9.81	101.15	0.00	0.00	9.81	9.81
# * Bus G	0.415	100.00	100.67	127.08	11.61	215.90	0.00	0.00	11.61	11.61
# * Bus H	0.415	100.00	100.67	127.08	11.61	215.90	0.00	0.00	11.61	11.61

• Nilai VIHD Skenario 6 Variasi B (50%-50%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'A'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'B'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'F'

Fund. kV: 0.217

[illegible]

Bus ID: Bus G

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus H

Fund. kV: 0.415

[illegible]

• Nilai VTHD Skenario 6 Variasi C (70%-70%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'A'	0.415	100.00	101.32	137.96	16.27	300.78	0.00	0.00	16.27	16.27
# * Bus 'B'	0.415	100.00	101.32	137.96	16.27	300.78	0.00	0.00	16.27	16.27
# * Bus 'D'	0.415	100.00	101.32	137.96	16.27	300.78	0.00	0.00	16.27	16.27
# * Bus 'E'	0.415	100.00	101.32	137.96	16.27	300.78	0.00	0.00	16.27	16.27
# * Bus 'F'	0.220	98.48	99.40	125.52	13.76	141.18	0.00	0.00	13.76	13.76
# * Bus G	0.415	100.00	101.32	137.96	16.27	300.78	0.00	0.00	16.27	16.27
# * Bus H	0.415	100.00	101.32	137.96	16.27	300.78	0.00	0.00	16.27	16.27

• Nilai VIHD Skenario 6 Variasi C (70%-70%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'A'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'B'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'F'

Fund. kV: 0.217

[illegible]

Bus ID: Bus G

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus H

Fund. kV: 0.415

[illegible]

• Nilai VTHD Skenario 6 Variasi D (100%-100%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
# * Bus 'A'	0.415	100.00	102.68	154.35	23.30	424.94	0.00	0.00	23.30	23.30
# * Bus 'B'	0.415	100.00	102.68	154.35	23.30	424.94	0.00	0.00	23.30	23.30
# * Bus 'D'	0.415	100.00	102.68	154.35	23.30	424.94	0.00	0.00	23.30	23.30
# * Bus 'E'	0.415	100.00	102.68	154.35	23.30	424.94	0.00	0.00	23.30	23.30
# * Bus 'F'	0.220	98.48	100.37	137.20	19.70	200.19	0.00	0.00	19.70	19.70
# * Bus 'G'	0.415	100.00	102.68	154.35	23.30	424.94	0.00	0.00	23.30	23.30
# * Bus 'H'	0.415	100.00	102.68	154.35	23.30	424.94	0.00	0.00	23.30	23.30

• Nilai VIHD Skenario 6 Variasi D (100%-100%) Hasil Simulasi Kondisi Awal

Bus ID: Bus 'A'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'B'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus 'F'

Fund. kV: 0.217

[illegible]

Bus ID: Bus G

Fund. kV: 0.415

[illegible]

Bus ID: Bus H

Fund. kV: 0.415

[illegible]

• Nilai VTHD Skenario 1 Variasi A (20%-20%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'D'	0.415	100.00	100.02	105.56	2.05	62.65	0.00	0.00	2.05	2.05
Bus 'E'	0.415	100.00	100.02	105.56	2.05	62.65	0.00	0.00	2.05	2.05
* Cable5~	0.415	99.85	99.88	105.74	2.18	65.20	0.00	0.00	2.18	2.18
* Cable7~	0.415	99.85	99.88	105.74	2.18	65.20	0.00	0.00	2.18	2.18

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VIHD Skenario 1 Variasi A (20%-20%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.62	7.00	350.00	1.02	11.00	550.00	1.02	13.00	650.00	0.50	17.00	850.00	0.77	19.00	950.00	0.54
23.00	1150.00	0.65	25.00	1250.00	0.43												

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.62	7.00	350.00	1.02	11.00	550.00	1.02	13.00	650.00	0.50	17.00	850.00	0.77	19.00	950.00	0.54
23.00	1150.00	0.65	25.00	1250.00	0.43												

Bus ID: Bus7

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

Bus ID: Bus8

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

• Nilai VTHD Skenario 1 Variasi B (50%-50%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'D'	0.415	100.00	100.11	112.06	4.73	153.17	0.00	0.00	4.73	4.73
Bus 'E'	0.415	100.00	100.11	112.06	4.73	153.17	0.00	0.00	4.73	4.73
* Cable5~	0.415	99.63	99.75	112.52	4.98	159.91	0.00	0.00	4.98	4.98
* Cable7~	0.415	99.63	99.75	112.52	4.98	159.91	0.00	0.00	4.98	4.98

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VTHD Skenario 1 Variasi D (100%-100%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'D'	0.415	100.00	100.12	112.16	4.92	192.72	0.00	0.00	4.92	4.92
Bus 'E'	0.415	100.00	100.12	112.16	4.92	192.72	0.00	0.00	4.92	4.92
* Cable5~	0.415	99.26	99.40	113.19	5.41	207.37	0.00	0.00	5.41	5.41
* Cable7~	0.415	99.26	99.40	113.19	5.41	207.37	0.00	0.00	5.41	5.41

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VIHD Skenario 1 Variasi D (100%-100%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.21	7.00	350.00	0.31	11.00	550.00	2.77	13.00	650.00	1.44	17.00	850.00	2.35	19.00	950.00	1.66
23.00	1150.00	2.05	25.00	1250.00	1.37												

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.21	7.00	350.00	0.31	11.00	550.00	2.77	13.00	650.00	1.44	17.00	850.00	2.35	19.00	950.00	1.66
23.00	1150.00	2.05	25.00	1250.00	1.37												

Bus ID: Bus7

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

Bus ID: Bus8

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

• Nilai VTHD Skenario 2 Variasi A (20%-20%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'D'	0.415	100.00	100.03	106.35	2.49	76.86	0.00	0.00	2.49	2.49
Bus 'E'	0.415	100.00	100.03	106.35	2.49	76.86	0.00	0.00	2.49	2.49
* Cable5~	0.415	99.85	99.89	106.50	2.58	79.33	0.00	0.00	2.58	2.58
* Cable7~	0.415	99.85	99.89	106.50	2.58	79.33	0.00	0.00	2.58	2.58

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VTHD Skenario 2 Variasi C (70%-70%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'D'	0.415	100.00	100.26	119.52	7.21	219.57	0.00	0.00	7.21	7.21
Bus 'E'	0.415	100.00	100.26	119.52	7.21	219.57	0.00	0.00	7.21	7.21
* Cable5~	0.415	99.48	99.77	120.17	7.68	229.29	0.00	0.00	7.68	7.68
* Cable7~	0.415	99.48	99.77	120.17	7.68	229.29	0.00	0.00	7.68	7.68

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VIHD Skenario 2 Variasi C (70%-70%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	2.19	7.00	350.00	3.57	11.00	550.00	3.60	13.00	650.00	1.75	17.00	850.00	2.70	19.00	950.00	1.89
23.00	1150.00	2.30	25.00	1250.00	1.52												

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	2.19	7.00	350.00	3.57	11.00	550.00	3.60	13.00	650.00	1.75	17.00	850.00	2.70	19.00	950.00	1.89
23.00	1150.00	2.30	25.00	1250.00	1.52												

Bus ID: Bus7

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

Bus ID: Bus8

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

• Nilai VTHD Skenario 2 Variasi D (100%-100%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'D'	0.415	100.00	100.20	116.59	6.35	199.69	0.00	0.00	6.35	6.35
Bus 'E'	0.415	100.00	100.20	116.59	6.35	199.69	0.00	0.00	6.35	6.35
* Cable5~	0.415	99.26	99.51	117.62	7.11	214.28	0.00	0.00	7.11	7.11
* Cable7~	0.415	99.26	99.51	117.62	7.11	214.28	0.00	0.00	7.11	7.11

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VTHD Skenario 3 Variasi A (20%-20%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund.	RMS	ASUM	THD	TIF	TIHD	TSHD	THDG	THDS
		%	%	%	%		%	%	%	%
Bus 'D'	0.415	100.00	100.04	107.47	2.76	87.81	0.00	0.00	2.76	2.76
Bus 'E'	0.415	100.00	100.04	107.47	2.76	87.81	0.00	0.00	2.76	2.76
* Cable5~	0.415	99.85	99.89	107.64	2.88	90.22	0.00	0.00	2.88	2.88
* Cable7~	0.415	99.85	99.89	107.64	2.88	90.22	0.00	0.00	2.88	2.88

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VIHD Skenario 3 Variasi A (20%-20%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'D'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.67	7.00	350.00	1.33	11.00	550.00	1.41	13.00	650.00	0.69	17.00	850.00	1.08	19.00	950.00	0.75
23.00	1150.00	0.92	25.00	1250.00	0.61												

Bus ID: Bus 'E'

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.67	7.00	350.00	1.33	11.00	550.00	1.41	13.00	650.00	0.69	17.00	850.00	1.08	19.00	950.00	0.75
23.00	1150.00	0.92	25.00	1250.00	0.61												

Bus ID: Bus7

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

Bus ID: Bus8

Fund. kV: 0.415

Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00												

• Nilai VTHD Skenario 3 Variasi B (50%-50%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund.	RMS	ASUM	THD	TIF	TIHD	TSHD	THDG	THDS
		%	%	%	%		%	%	%	%
Bus 'D'	0.415	100.00	100.24	118.71	6.93	219.57	0.00	0.00	6.93	6.93
Bus 'E'	0.415	100.00	100.24	118.71	6.93	219.57	0.00	0.00	6.93	6.93
* Cable5~	0.415	99.63	99.89	119.14	7.23	226.05	0.00	0.00	7.23	7.23
* Cable7~	0.415	99.63	99.89	119.14	7.23	226.05	0.00	0.00	7.23	7.23

* Indicates THD (Total Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

Indicates IHD (Individual Harmonic Distortion) Exceeds the Limit.

• Nilai VIHD Skenario 3 Variasi B (50%-50%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'D'																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	1.68	7.00	350.00	3.34	11.00	550.00	3.54	13.00	650.00	1.74	17.00	850.00	2.70	19.00	950.00	1.89												
23.00	1150.00	2.30	25.00	1250.00	1.53																								
Bus ID: Bus 'E'																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	1.68	7.00	350.00	3.34	11.00	550.00	3.54	13.00	650.00	1.74	17.00	850.00	2.70	19.00	950.00	1.89												
23.00	1150.00	2.30	25.00	1250.00	1.53																								
Bus ID: Bus7																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00												
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00																								
Bus ID: Bus8																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	0.00	7.00	350.00	0.00	11.00	550.00	0.00	13.00	650.00	0.00	17.00	850.00	0.00	19.00	950.00	0.00												
23.00	1150.00	0.00	25.00	1250.00	0.00																								

• Nilai VTHD Skenario 4 Variasi A (20%-20%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.02	104.68	1.73	51.34	0.00	0.00	1.73	1.73
Bus 'B'	0.415	100.00	100.02	104.68	1.73	51.34	0.00	0.00	1.73	1.73
Bus 'D'	0.415	100.00	100.02	104.68	1.73	51.34	0.00	0.00	1.73	1.73
Bus 'E'	0.415	100.00	100.02	104.68	1.73	51.34	0.00	0.00	1.73	1.73
Bus 'F'	0.220	98.48	98.48	101.48	1.24	23.77	0.00	0.00	1.24	1.24
Bus G	0.415	100.00	100.02	104.68	1.73	51.34	0.00	0.00	1.73	1.73
Bus H	0.415	100.00	100.02	104.68	1.73	51.34	0.00	0.00	1.73	1.73

• Nilai VTHD Skenario 4 Variasi B (50%-50%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.09	111.73	4.34	128.53	0.00	0.00	4.34	4.34
Bus 'B'	0.415	100.00	100.09	111.73	4.34	128.53	0.00	0.00	4.34	4.34
Bus 'D'	0.415	100.00	100.09	111.73	4.34	128.53	0.00	0.00	4.34	4.34
Bus 'E'	0.415	100.00	100.09	111.73	4.34	128.53	0.00	0.00	4.34	4.34
Bus 'F'	0.220	98.48	98.52	106.00	3.10	59.54	0.00	0.00	3.10	3.10
Bus G	0.415	100.00	100.09	111.73	4.34	128.53	0.00	0.00	4.34	4.34
Bus H	0.415	100.00	100.09	111.73	4.34	128.53	0.00	0.00	4.34	4.34

• Nilai VIHD Skenario 4 Variasi A (20%-20%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																											
Fund. kV: 0.415																											
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %										
5.00	250.00	0.59	7.00	350.00	0.87	11.00	550.00	0.85	13.00	650.00	0.41	17.00	850.00	0.63	19.00	950.00	0.44										
23.00	1150.00	0.53	25.00	1250.00	0.35																						
Bus ID: Bus 'B'																											
Fund. kV: 0.415																											
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %										
5.00	250.00	0.59	7.00	350.00	0.87	11.00	550.00	0.85	13.00	650.00	0.41	17.00	850.00	0.63	19.00	950.00	0.44										
23.00	1150.00	0.53	25.00	1250.00	0.35																						
Bus ID: Bus 'D'																											
Fund. kV: 0.415																											
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %										
5.00	250.00	0.59	7.00	350.00	0.87	11.00	550.00	0.85	13.00	650.00	0.41	17.00	850.00	0.63	19.00	950.00	0.44										
23.00	1150.00	0.53	25.00	1250.00	0.35																						
Bus ID: Bus 'E'																											
Fund. kV: 0.415																											
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %										
5.00	250.00	0.59	7.00	350.00	0.87	11.00	550.00	0.85	13.00	650.00	0.41	17.00	850.00	0.63	19.00	950.00	0.44										
23.00	1150.00	0.53	25.00	1250.00	0.35																						
Bus ID: Bus 'F'																											
Fund. kV: 0.217																											
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %										
5.00	250.00	0.55	7.00	350.00	0.75	11.00	550.00	0.62	13.00	650.00	0.27	17.00	850.00	0.33	19.00	950.00	0.21										
23.00	1150.00	0.20	25.00	1250.00	0.12																						
Bus ID: Bus G																											
Fund. kV: 0.415																											
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %										
5.00	250.00	0.59	7.00	350.00	0.87	11.00	550.00	0.85	13.00	650.00	0.41	17.00	850.00	0.63	19.00	950.00	0.44										
23.00	1150.00	0.53	25.00	1250.00	0.35																						
Bus ID: Bus H																											
Fund. kV: 0.415																											
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %										
5.00	250.00	0.59	7.00	350.00	0.87	11.00	550.00	0.85	13.00	650.00	0.41	17.00	850.00	0.63	19.00	950.00	0.44										
23.00	1150.00	0.53	25.00	1250.00	0.35																						

• Nilai VTHD Skenario 4 Variasi C (70%-70%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.18	116.45	6.08	180.05	0.00	0.00	6.08	6.08
Bus 'B'	0.415	100.00	100.18	116.45	6.08	180.05	0.00	0.00	6.08	6.08
Bus 'D'	0.415	100.00	100.18	116.45	6.08	180.05	0.00	0.00	6.08	6.08
Bus 'E'	0.415	100.00	100.18	116.45	6.08	180.05	0.00	0.00	6.08	6.08
Bus 'F'	0.220	98.48	98.57	109.03	4.34	83.44	0.00	0.00	4.34	4.34
Bus G	0.415	100.00	100.18	116.45	6.08	180.05	0.00	0.00	6.08	6.08
Bus H	0.415	100.00	100.18	116.45	6.08	180.05	0.00	0.00	6.08	6.08

• Nilai VIHD Skenario 4 Variasi B (50%-50%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.49	7.00	350.00	2.17	11.00	550.00	2.13	13.00	650.00	1.04	17.00	850.00	1.58	19.00	950.00	1.10
23.00	1150.00	1.34	25.00	1250.00	0.88												
Bus ID: Bus 'B'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.49	7.00	350.00	2.17	11.00	550.00	2.13	13.00	650.00	1.04	17.00	850.00	1.58	19.00	950.00	1.10
23.00	1150.00	1.34	25.00	1250.00	0.88												
Bus ID: Bus 'D'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.49	7.00	350.00	2.17	11.00	550.00	2.13	13.00	650.00	1.04	17.00	850.00	1.58	19.00	950.00	1.10
23.00	1150.00	1.34	25.00	1250.00	0.88												
Bus ID: Bus 'E'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.49	7.00	350.00	2.17	11.00	550.00	2.13	13.00	650.00	1.04	17.00	850.00	1.58	19.00	950.00	1.10
23.00	1150.00	1.34	25.00	1250.00	0.88												
Bus ID: Bus 'F'																	
Fund. kV: 0.217																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.38	7.00	350.00	1.88	11.00	550.00	1.54	13.00	650.00	0.68	17.00	850.00	0.83	19.00	950.00	0.52
23.00	1150.00	0.51	25.00	1250.00	0.30												
Bus ID: Bus G																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.49	7.00	350.00	2.17	11.00	550.00	2.13	13.00	650.00	1.04	17.00	850.00	1.58	19.00	950.00	1.10
23.00	1150.00	1.34	25.00	1250.00	0.88												
Bus ID: Bus H																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.49	7.00	350.00	2.17	11.00	550.00	2.13	13.00	650.00	1.04	17.00	850.00	1.58	19.00	950.00	1.10
23.00	1150.00	1.34	25.00	1250.00	0.88												

• Nilai VTHD Skenario 4 Variasi D (100%-100%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.17	114.96	5.76	175.47	0.00	0.00	5.76	5.76
Bus 'B'	0.415	100.00	100.17	114.96	5.76	175.47	0.00	0.00	5.76	5.76
Bus 'D'	0.415	100.00	100.17	114.96	5.76	175.47	0.00	0.00	5.76	5.76
Bus 'E'	0.415	100.00	100.17	114.96	5.76	175.47	0.00	0.00	5.76	5.76
Bus 'F'	0.220	98.48	98.56	107.96	4.20	79.90	0.00	0.00	4.20	4.20
Bus G	0.415	100.00	100.17	114.96	5.76	175.47	0.00	0.00	5.76	5.76
Bus H	0.415	100.00	100.17	114.96	5.76	175.47	0.00	0.00	5.76	5.76

• Nilai VIHD Skenario 4 Variasi C (70%-70%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	2.08	7.00	350.00	3.04	11.00	550.00	2.99	13.00	650.00	1.45	17.00	850.00	2.22	19.00	950.00	1.55																
23.00	1150.00	1.88	25.00	1250.00	1.24																												
Bus ID: Bus 'B'																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	2.08	7.00	350.00	3.04	11.00	550.00	2.99	13.00	650.00	1.45	17.00	850.00	2.22	19.00	950.00	1.55																
23.00	1150.00	1.88	25.00	1250.00	1.24																												
Bus ID: Bus 'D'																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	2.08	7.00	350.00	3.04	11.00	550.00	2.99	13.00	650.00	1.45	17.00	850.00	2.22	19.00	950.00	1.55																
23.00	1150.00	1.88	25.00	1250.00	1.24																												
Bus ID: Bus 'E'																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	2.08	7.00	350.00	3.04	11.00	550.00	2.99	13.00	650.00	1.45	17.00	850.00	2.22	19.00	950.00	1.55																
23.00	1150.00	1.88	25.00	1250.00	1.24																												
Bus ID: Bus 'F'																																	
Fund. kV: 0.217																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	1.93	7.00	350.00	2.64	11.00	550.00	2.16	13.00	650.00	0.95	17.00	850.00	1.17	19.00	950.00	0.73																
23.00	1150.00	0.71	25.00	1250.00	0.42																												
Bus ID: Bus G																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	2.08	7.00	350.00	3.04	11.00	550.00	2.99	13.00	650.00	1.45	17.00	850.00	2.22	19.00	950.00	1.55																
23.00	1150.00	1.88	25.00	1250.00	1.24																												
Bus ID: Bus H																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	2.08	7.00	350.00	3.04	11.00	550.00	2.99	13.00	650.00	1.45	17.00	850.00	2.22	19.00	950.00	1.55																
23.00	1150.00	1.88	25.00	1250.00	1.24																												

• Nilai VTHD Skenario 4 Variasi E (70%-40%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.11	112.92	4.78	141.45	0.00	0.00	4.78	4.78
Bus 'B'	0.415	100.00	100.11	112.92	4.78	141.45	0.00	0.00	4.78	4.78
Bus 'D'	0.415	100.00	100.11	112.92	4.78	141.45	0.00	0.00	4.78	4.78
Bus 'E'	0.415	100.00	100.11	112.92	4.78	141.45	0.00	0.00	4.78	4.78
Bus 'F'	0.220	98.48	98.53	106.76	3.41	65.53	0.00	0.00	3.41	3.41
Bus G	0.415	100.00	100.11	112.92	4.78	141.45	0.00	0.00	4.78	4.78
Bus H	0.415	100.00	100.11	112.92	4.78	141.45	0.00	0.00	4.78	4.78

• Nilai VIHD Skenario 4 Variasi D (100%-100%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	3.47	7.00	350.00	0.77	11.00	550.00	2.62	13.00	650.00	1.34	17.00	850.00	2.15	19.00	950.00	1.51												
23.00	1150.00	1.86	25.00	1250.00	1.24																								
Bus ID: Bus 'B'																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	3.47	7.00	350.00	0.77	11.00	550.00	2.62	13.00	650.00	1.34	17.00	850.00	2.15	19.00	950.00	1.51												
23.00	1150.00	1.86	25.00	1250.00	1.24																								
Bus ID: Bus 'D'																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	3.47	7.00	350.00	0.77	11.00	550.00	2.62	13.00	650.00	1.34	17.00	850.00	2.15	19.00	950.00	1.51												
23.00	1150.00	1.86	25.00	1250.00	1.24																								
Bus ID: Bus 'E'																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	3.47	7.00	350.00	0.77	11.00	550.00	2.62	13.00	650.00	1.34	17.00	850.00	2.15	19.00	950.00	1.51												
23.00	1150.00	1.86	25.00	1250.00	1.24																								
Bus ID: Bus 'F'																													
Fund. kV: 0.217																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	3.22	7.00	350.00	0.67	11.00	550.00	1.89	13.00	650.00	0.88	17.00	850.00	1.13	19.00	950.00	0.71												
23.00	1150.00	0.71	25.00	1250.00	0.42																								
Bus ID: Bus G																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	3.47	7.00	350.00	0.77	11.00	550.00	2.62	13.00	650.00	1.34	17.00	850.00	2.15	19.00	950.00	1.51												
23.00	1150.00	1.86	25.00	1250.00	1.24																								
Bus ID: Bus H																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	3.47	7.00	350.00	0.77	11.00	550.00	2.62	13.00	650.00	1.34	17.00	850.00	2.15	19.00	950.00	1.51												
23.00	1150.00	1.86	25.00	1250.00	1.24																								

• Nilai VTHD Skenario 5 Variasi A (20%-20%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.01	103.87	1.45	45.03	0.00	0.00	1.45	1.45
Bus 'B'	0.415	100.00	100.01	103.87	1.45	45.03	0.00	0.00	1.45	1.45
Bus 'D'	0.415	100.00	100.01	103.87	1.45	45.03	0.00	0.00	1.45	1.45
Bus 'E'	0.415	100.00	100.01	103.87	1.45	45.03	0.00	0.00	1.45	1.45
Bus 'F'	0.220	98.48	98.48	100.90	1.00	20.83	0.00	0.00	1.00	1.00
Bus G	0.415	100.00	100.01	103.87	1.45	45.03	0.00	0.00	1.45	1.45
Bus H	0.415	100.00	100.01	103.87	1.45	45.03	0.00	0.00	1.45	1.45

• Nilai VIHD Skenario 4 Variasi E (70%-40%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	7.60	7.00	350.00	3.62	11.00	550.00	3.13	13.00	650.00	1.49	17.00	850.00	2.25	19.00	950.00	1.56													
23.00	1150.00	1.88	25.00	1250.00	1.24																									
Bus ID: Bus 'B'																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	7.60	7.00	350.00	3.62	11.00	550.00	3.13	13.00	650.00	1.49	17.00	850.00	2.25	19.00	950.00	1.56													
23.00	1150.00	1.88	25.00	1250.00	1.24																									
Bus ID: Bus 'D'																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	7.60	7.00	350.00	3.62	11.00	550.00	3.13	13.00	650.00	1.49	17.00	850.00	2.25	19.00	950.00	1.56													
23.00	1150.00	1.88	25.00	1250.00	1.24																									
Bus ID: Bus 'E'																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	7.60	7.00	350.00	3.62	11.00	550.00	3.13	13.00	650.00	1.49	17.00	850.00	2.25	19.00	950.00	1.56													
23.00	1150.00	1.88	25.00	1250.00	1.24																									
Bus ID: Bus 'F'																														
Fund. kV: 0.217																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	7.05	7.00	350.00	3.13	11.00	550.00	2.26	13.00	650.00	0.98	17.00	850.00	1.18	19.00	950.00	0.73													
23.00	1150.00	0.71	25.00	1250.00	0.42																									
Bus ID: Bus G																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	7.60	7.00	350.00	3.62	11.00	550.00	3.13	13.00	650.00	1.49	17.00	850.00	2.25	19.00	950.00	1.56													
23.00	1150.00	1.88	25.00	1250.00	1.24																									
Bus ID: Bus H																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	7.60	7.00	350.00	3.62	11.00	550.00	3.13	13.00	650.00	1.49	17.00	850.00	2.25	19.00	950.00	1.56													
23.00	1150.00	1.88	25.00	1250.00	1.24																									

• Nilai VTHD Skenario 5 Variasi B (50%-50%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.08	110.77	3.99	116.66	0.00	0.00	3.99	3.99
Bus 'B'	0.415	100.00	100.08	110.77	3.99	116.66	0.00	0.00	3.99	3.99
Bus 'D'	0.415	100.00	100.08	110.77	3.99	116.66	0.00	0.00	3.99	3.99
Bus 'E'	0.415	100.00	100.08	110.77	3.99	116.66	0.00	0.00	3.99	3.99
Bus 'F'	0.220	98.48	98.52	105.42	2.86	54.05	0.00	0.00	2.86	2.86
Bus G	0.415	100.00	100.08	110.77	3.99	116.66	0.00	0.00	3.99	3.99
Bus H	0.415	100.00	100.08	110.77	3.99	116.66	0.00	0.00	3.99	3.99

• Nilai VIHD Skenario 5 Variasi A (20%-20%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	0.30	7.00	350.00	0.75	11.00	550.00	0.74	13.00	650.00	0.36	17.00	850.00	0.55	19.00	950.00	0.39												
23.00	1150.00	0.47	25.00	1250.00	0.31																								
Bus ID: Bus 'B'																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	0.30	7.00	350.00	0.75	11.00	550.00	0.74	13.00	650.00	0.36	17.00	850.00	0.55	19.00	950.00	0.39												
23.00	1150.00	0.47	25.00	1250.00	0.31																								
Bus ID: Bus 'D'																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	0.30	7.00	350.00	0.75	11.00	550.00	0.74	13.00	650.00	0.36	17.00	850.00	0.55	19.00	950.00	0.39												
23.00	1150.00	0.47	25.00	1250.00	0.31																								
Bus ID: Bus 'E'																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	0.30	7.00	350.00	0.75	11.00	550.00	0.74	13.00	650.00	0.36	17.00	850.00	0.55	19.00	950.00	0.39												
23.00	1150.00	0.47	25.00	1250.00	0.31																								
Bus ID: Bus 'F'																													
Fund. kV: 0.217																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	0.28	7.00	350.00	0.65	11.00	550.00	0.54	13.00	650.00	0.24	17.00	850.00	0.29	19.00	950.00	0.18												
23.00	1150.00	0.18	25.00	1250.00	0.11																								
Bus ID: Bus G																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	0.30	7.00	350.00	0.75	11.00	550.00	0.74	13.00	650.00	0.36	17.00	850.00	0.55	19.00	950.00	0.39												
23.00	1150.00	0.47	25.00	1250.00	0.31																								
Bus ID: Bus H																													
Fund. kV: 0.415																													
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %												
5.00	250.00	0.30	7.00	350.00	0.75	11.00	550.00	0.74	13.00	650.00	0.36	17.00	850.00	0.55	19.00	950.00	0.39												
23.00	1150.00	0.47	25.00	1250.00	0.31																								

• Nilai VTHD Skenario 5 Variasi C (70%-70%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.16	115.10	5.59	163.44	0.00	0.00	5.59	5.59
Bus 'B'	0.415	100.00	100.16	115.10	5.59	163.44	0.00	0.00	5.59	5.59
Bus 'D'	0.415	100.00	100.16	115.10	5.59	163.44	0.00	0.00	5.59	5.59
Bus 'E'	0.415	100.00	100.16	115.10	5.59	163.44	0.00	0.00	5.59	5.59
Bus 'F'	0.220	98.48	98.56	108.21	4.02	75.76	0.00	0.00	4.02	4.02
Bus G	0.415	100.00	100.16	115.10	5.59	163.44	0.00	0.00	5.59	5.59
Bus H	0.415	100.00	100.16	115.10	5.59	163.44	0.00	0.00	5.59	5.59

• Nilai VIHD Skenario 5 Variasi B (50%-50%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID:		Bus 'A'															
Fund. kV:		0.415															
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.44	7.00	350.00	1.99	11.00	550.00	1.94	13.00	650.00	0.94	17.00	850.00	1.44	19.00	950.00	1.00
23.00	1150.00	1.21	25.00	1250.00	0.80												
Bus ID:		Bus 'B'															
Fund. kV:		0.415															
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.44	7.00	350.00	1.99	11.00	550.00	1.94	13.00	650.00	0.94	17.00	850.00	1.44	19.00	950.00	1.00
23.00	1150.00	1.21	25.00	1250.00	0.80												
Bus ID:		Bus 'D'															
Fund. kV:		0.415															
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.44	7.00	350.00	1.99	11.00	550.00	1.94	13.00	650.00	0.94	17.00	850.00	1.44	19.00	950.00	1.00
23.00	1150.00	1.21	25.00	1250.00	0.80												
Bus ID:		Bus 'E'															
Fund. kV:		0.415															
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.44	7.00	350.00	1.99	11.00	550.00	1.94	13.00	650.00	0.94	17.00	850.00	1.44	19.00	950.00	1.00
23.00	1150.00	1.21	25.00	1250.00	0.80												
Bus ID:		Bus 'F'															
Fund. kV:		0.217															
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.34	7.00	350.00	1.73	11.00	550.00	1.40	13.00	650.00	0.61	17.00	850.00	0.76	19.00	950.00	0.47
23.00	1150.00	0.46	25.00	1250.00	0.27												
Bus ID:		Bus G															
Fund. kV:		0.415															
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.44	7.00	350.00	1.99	11.00	550.00	1.94	13.00	650.00	0.94	17.00	850.00	1.44	19.00	950.00	1.00
23.00	1150.00	1.21	25.00	1250.00	0.80												
Bus ID:		Bus H															
Fund. kV:		0.415															
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.44	7.00	350.00	1.99	11.00	550.00	1.94	13.00	650.00	0.94	17.00	850.00	1.44	19.00	950.00	1.00
23.00	1150.00	1.21	25.00	1250.00	0.80												

• Nilai VTHD Skenario 5 Variasi D (100%-100%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.15	114.16	5.47	164.04	0.00	0.00	5.47	5.47
Bus 'B'	0.415	100.00	100.15	114.16	5.47	164.04	0.00	0.00	5.47	5.47
Bus 'D'	0.415	100.00	100.15	114.16	5.47	164.04	0.00	0.00	5.47	5.47
Bus 'E'	0.415	100.00	100.15	114.16	5.47	164.04	0.00	0.00	5.47	5.47
Bus 'F'	0.220	98.48	98.56	107.50	4.02	74.76	0.00	0.00	4.02	4.02
Bus G	0.415	100.00	100.15	114.16	5.47	164.04	0.00	0.00	5.47	5.47
Bus H	0.415	100.00	100.15	114.16	5.47	164.04	0.00	0.00	5.47	5.47

• Nilai VIHD Skenario 5 Variasi C (70%-70%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																			
Fund. kV: 0.415																			
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz
5.00	250.00	2.03	7.00	350.00	2.80	11.00	550.00	2.72	13.00	650.00	1.32	17.00	850.00	2.02	19.00	950.00	1.40		
23.00	1150.00	1.70	25.00	1250.00	1.13														
Bus ID: Bus 'B'																			
Fund. kV: 0.415																			
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz
5.00	250.00	2.03	7.00	350.00	2.80	11.00	550.00	2.72	13.00	650.00	1.32	17.00	850.00	2.02	19.00	950.00	1.40		
23.00	1150.00	1.70	25.00	1250.00	1.13														
Bus ID: Bus 'D'																			
Fund. kV: 0.415																			
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz
5.00	250.00	2.03	7.00	350.00	2.80	11.00	550.00	2.72	13.00	650.00	1.32	17.00	850.00	2.02	19.00	950.00	1.40		
23.00	1150.00	1.70	25.00	1250.00	1.13														
Bus ID: Bus 'E'																			
Fund. kV: 0.415																			
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz
5.00	250.00	2.03	7.00	350.00	2.80	11.00	550.00	2.72	13.00	650.00	1.32	17.00	850.00	2.02	19.00	950.00	1.40		
23.00	1150.00	1.70	25.00	1250.00	1.13														
Bus ID: Bus 'F'																			
Fund. kV: 0.217																			
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz
5.00	250.00	1.88	7.00	350.00	2.42	11.00	550.00	1.97	13.00	650.00	0.86	17.00	850.00	1.06	19.00	950.00	0.66		
23.00	1150.00	0.65	25.00	1250.00	0.38														
Bus ID: Bus G																			
Fund. kV: 0.415																			
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz
5.00	250.00	2.03	7.00	350.00	2.80	11.00	550.00	2.72	13.00	650.00	1.32	17.00	850.00	2.02	19.00	950.00	1.40		
23.00	1150.00	1.70	25.00	1250.00	1.13														
Bus ID: Bus H																			
Fund. kV: 0.415																			
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz
5.00	250.00	2.03	7.00	350.00	2.80	11.00	550.00	2.72	13.00	650.00	1.32	17.00	850.00	2.02	19.00	950.00	1.40		
23.00	1150.00	1.70	25.00	1250.00	1.13														

• Nilai VTHD Skenario 5 Variasi E (70%-40%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.10	111.86	4.39	128.39	0.00	0.00	4.39	4.39
Bus 'B'	0.415	100.00	100.10	111.86	4.39	128.39	0.00	0.00	4.39	4.39
Bus 'D'	0.415	100.00	100.10	111.86	4.39	128.39	0.00	0.00	4.39	4.39
Bus 'E'	0.415	100.00	100.10	111.86	4.39	128.39	0.00	0.00	4.39	4.39
Bus 'F'	0.220	98.48	98.52	106.11	3.15	59.49	0.00	0.00	3.15	3.15
Bus G	0.415	100.00	100.10	111.86	4.39	128.39	0.00	0.00	4.39	4.39
Bus H	0.415	100.00	100.10	111.86	4.39	128.39	0.00	0.00	4.39	4.39

• Nilai VIHD Skenario 5 Variasi D (100%-100%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	3.36	7.00	350.00	0.76	11.00	550.00	2.47	13.00	650.00	1.26	17.00	850.00	2.01	19.00	950.00	1.41																
23.00	1150.00	1.74	25.00	1250.00	1.15																												
Bus ID: Bus 'B'																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	3.36	7.00	350.00	0.76	11.00	550.00	2.47	13.00	650.00	1.26	17.00	850.00	2.01	19.00	950.00	1.41																
23.00	1150.00	1.74	25.00	1250.00	1.15																												
Bus ID: Bus 'D'																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	3.36	7.00	350.00	0.76	11.00	550.00	2.47	13.00	650.00	1.26	17.00	850.00	2.01	19.00	950.00	1.41																
23.00	1150.00	1.74	25.00	1250.00	1.15																												
Bus ID: Bus 'E'																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	3.36	7.00	350.00	0.76	11.00	550.00	2.47	13.00	650.00	1.26	17.00	850.00	2.01	19.00	950.00	1.41																
23.00	1150.00	1.74	25.00	1250.00	1.15																												
Bus ID: Bus 'F'																																	
Fund. kV: 0.217																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	3.12	7.00	350.00	0.66	11.00	550.00	1.79	13.00	650.00	0.82	17.00	850.00	1.06	19.00	950.00	0.67																
23.00	1150.00	0.66	25.00	1250.00	0.39																												
Bus ID: Bus G																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	3.36	7.00	350.00	0.76	11.00	550.00	2.47	13.00	650.00	1.26	17.00	850.00	2.01	19.00	950.00	1.41																
23.00	1150.00	1.74	25.00	1250.00	1.15																												
Bus ID: Bus H																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	3.36	7.00	350.00	0.76	11.00	550.00	2.47	13.00	650.00	1.26	17.00	850.00	2.01	19.00	950.00	1.41																
23.00	1150.00	1.74	25.00	1250.00	1.15																												

• Nilai VTHD Skenario 6 Variasi A (20%-20%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.29	119.47	7.64	246.41	0.00	0.00	7.64	7.64
Bus 'B'	0.415	100.00	100.29	119.47	7.64	246.41	0.00	0.00	7.64	7.64
Bus 'D'	0.415	100.00	100.29	119.47	7.64	246.41	0.00	0.00	7.64	7.64
Bus 'E'	0.415	100.00	100.29	119.47	7.64	246.41	0.00	0.00	7.64	7.64
Bus 'F'	0.220	98.48	98.60	110.15	5.12	113.86	0.00	0.00	5.12	5.12
Bus G	0.415	100.00	100.29	119.47	7.64	246.41	0.00	0.00	7.64	7.64
Bus H	0.415	100.00	100.29	119.47	7.64	246.41	0.00	0.00	7.64	7.64

• Nilai VIHD Skenario 5 Variasi E (70%-40%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																	
Nom. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.59	7.00	350.00	2.19	11.00	550.00	2.13	13.00	650.00	1.03	17.00	850.00	1.58	19.00	950.00	1.10
23.00	1150.00	1.34	25.00	1250.00	0.88												
Bus ID: Bus 'B'																	
Nom. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.59	7.00	350.00	2.19	11.00	550.00	2.13	13.00	650.00	1.03	17.00	850.00	1.58	19.00	950.00	1.10
23.00	1150.00	1.34	25.00	1250.00	0.88												
Bus ID: Bus 'D'																	
Nom. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.59	7.00	350.00	2.19	11.00	550.00	2.13	13.00	650.00	1.03	17.00	850.00	1.58	19.00	950.00	1.10
23.00	1150.00	1.34	25.00	1250.00	0.88												
Bus ID: Bus 'E'																	
Nom. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.59	7.00	350.00	2.19	11.00	550.00	2.13	13.00	650.00	1.03	17.00	850.00	1.58	19.00	950.00	1.10
23.00	1150.00	1.34	25.00	1250.00	0.88												
Bus ID: Bus 'F'																	
Nom. kV: 0.220																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.45	7.00	350.00	1.87	11.00	550.00	1.52	13.00	650.00	0.67	17.00	850.00	0.82	19.00	950.00	0.51
23.00	1150.00	0.50	25.00	1250.00	0.30												
Bus ID: Bus G																	
Nom. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.59	7.00	350.00	2.19	11.00	550.00	2.13	13.00	650.00	1.03	17.00	850.00	1.58	19.00	950.00	1.10
23.00	1150.00	1.34	25.00	1250.00	0.88												
Bus ID: Bus H																	
Nom. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.59	7.00	350.00	2.19	11.00	550.00	2.13	13.00	650.00	1.03	17.00	850.00	1.58	19.00	950.00	1.10
23.00	1150.00	1.34	25.00	1250.00	0.88												

• Nilai VTHD Skenario 6 Variasi B (50%-50%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	TIHD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.13	114.01	5.18	157.59	0.00	0.00	5.18	5.18
Bus 'B'	0.415	100.00	100.13	114.01	5.18	157.59	0.00	0.00	5.18	5.18
Bus 'D'	0.415	100.00	100.13	114.01	5.18	157.59	0.00	0.00	5.18	5.18
Bus 'E'	0.415	100.00	100.13	114.01	5.18	157.59	0.00	0.00	5.18	5.18
Bus 'F'	0.220	98.48	98.54	107.37	3.64	72.86	0.00	0.00	3.64	3.64
Bus G	0.415	100.00	100.13	114.01	5.18	157.59	0.00	0.00	5.18	5.18
Bus H	0.415	100.00	100.13	114.01	5.18	157.59	0.00	0.00	5.18	5.18

• Nilai VIHD Skenario 6 Variasi A (20%-20%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	0.17	7.00	350.00	3.86	11.00	550.00	4.02	13.00	650.00	1.97	17.00	850.00	3.04	19.00	950.00	2.12																
23.00	1150.00	2.58	25.00	1250.00	1.71																												
Bus ID: Bus 'B'																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	0.17	7.00	350.00	3.86	11.00	550.00	4.02	13.00	650.00	1.97	17.00	850.00	3.04	19.00	950.00	2.12																
23.00	1150.00	2.58	25.00	1250.00	1.71																												
Bus ID: Bus 'D'																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	0.17	7.00	350.00	3.86	11.00	550.00	4.02	13.00	650.00	1.97	17.00	850.00	3.04	19.00	950.00	2.12																
23.00	1150.00	2.58	25.00	1250.00	1.71																												
Bus ID: Bus 'E'																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	0.17	7.00	350.00	3.86	11.00	550.00	4.02	13.00	650.00	1.97	17.00	850.00	3.04	19.00	950.00	2.12																
23.00	1150.00	2.58	25.00	1250.00	1.71																												
Bus ID: Bus 'F'																																	
Fund. kV: 0.217																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	0.16	7.00	350.00	3.35	11.00	550.00	2.91	13.00	650.00	1.29	17.00	850.00	1.60	19.00	950.00	1.00																
23.00	1150.00	0.98	25.00	1250.00	0.58																												
Bus ID: Bus G																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	0.17	7.00	350.00	3.86	11.00	550.00	4.02	13.00	650.00	1.97	17.00	850.00	3.04	19.00	950.00	2.12																
23.00	1150.00	2.58	25.00	1250.00	1.71																												
Bus ID: Bus H																																	
Fund. kV: 0.415																																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz														
5.00	250.00	0.17	7.00	350.00	3.86	11.00	550.00	4.02	13.00	650.00	1.97	17.00	850.00	3.04	19.00	950.00	2.12																
23.00	1150.00	2.58	25.00	1250.00	1.71																												

• Nilai VTHD Skenario 6 Variasi C (70%-70%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.26	119.64	7.26	220.67	0.00	0.00	7.26	7.26
Bus 'B'	0.415	100.00	100.26	119.64	7.26	220.67	0.00	0.00	7.26	7.26
Bus 'D'	0.415	100.00	100.26	119.64	7.26	220.67	0.00	0.00	7.26	7.26
Bus 'E'	0.415	100.00	100.26	119.64	7.26	220.67	0.00	0.00	7.26	7.26
Bus 'F'	0.220	98.48	98.60	110.94	5.10	102.09	0.00	0.00	5.10	5.10
Bus G	0.415	100.00	100.26	119.64	7.26	220.67	0.00	0.00	7.26	7.26
Bus H	0.415	100.00	100.26	119.64	7.26	220.67	0.00	0.00	7.26	7.26

• Nilai VIHD Skenario 6 Variasi B (50%-50%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	1.57	7.00	350.00	2.57	11.00	550.00	2.59	13.00	650.00	1.26	17.00	850.00	1.94	19.00	950.00	1.35													
23.00	1150.00	1.64	25.00	1250.00	1.09																									
Bus ID: Bus 'B'																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	1.57	7.00	350.00	2.57	11.00	550.00	2.59	13.00	650.00	1.26	17.00	850.00	1.94	19.00	950.00	1.35													
23.00	1150.00	1.64	25.00	1250.00	1.09																									
Bus ID: Bus 'D'																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	1.57	7.00	350.00	2.57	11.00	550.00	2.59	13.00	650.00	1.26	17.00	850.00	1.94	19.00	950.00	1.35													
23.00	1150.00	1.64	25.00	1250.00	1.09																									
Bus ID: Bus 'E'																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	1.57	7.00	350.00	2.57	11.00	550.00	2.59	13.00	650.00	1.26	17.00	850.00	1.94	19.00	950.00	1.35													
23.00	1150.00	1.64	25.00	1250.00	1.09																									
Bus ID: Bus 'F'																														
Fund. kV: 0.217																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	1.45	7.00	350.00	2.22	11.00	550.00	1.87	13.00	650.00	0.82	17.00	850.00	1.02	19.00	950.00	0.64													
23.00	1150.00	0.62	25.00	1250.00	0.37																									
Bus ID: Bus G																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	1.57	7.00	350.00	2.57	11.00	550.00	2.59	13.00	650.00	1.26	17.00	850.00	1.94	19.00	950.00	1.35													
23.00	1150.00	1.64	25.00	1250.00	1.09																									
Bus ID: Bus H																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	1.57	7.00	350.00	2.57	11.00	550.00	2.59	13.00	650.00	1.26	17.00	850.00	1.94	19.00	950.00	1.35													
23.00	1150.00	1.64	25.00	1250.00	1.09																									

• Nilai VTHD Skenario 6 Variasi D (100%-100%) Setelah Pemasangan Filter

System Harmonics Bus Information

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.20	116.66	6.38	200.53	0.00	0.00	6.38	6.38
Bus 'B'	0.415	100.00	100.20	116.66	6.38	200.53	0.00	0.00	6.38	6.38
Bus 'D'	0.415	100.00	100.20	116.66	6.38	200.53	0.00	0.00	6.38	6.38
Bus 'E'	0.415	100.00	100.20	116.66	6.38	200.53	0.00	0.00	6.38	6.38
Bus 'F'	0.220	98.48	98.58	108.94	4.57	91.08	0.00	0.00	4.57	4.57
Bus G	0.415	100.00	100.20	116.66	6.38	200.53	0.00	0.00	6.38	6.38
Bus H	0.415	100.00	100.20	116.66	6.38	200.53	0.00	0.00	6.38	6.38

• Nilai VIHD Skenario 6 Variasi C (70%-70%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	2.20	7.00	350.00	3.60	11.00	550.00	3.63	13.00	650.00	1.77	17.00	850.00	2.72	19.00	950.00	1.90													
23.00	1150.00	2.31	25.00	1250.00	1.53																									
Bus ID: Bus 'B'																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	2.20	7.00	350.00	3.60	11.00	550.00	3.63	13.00	650.00	1.77	17.00	850.00	2.72	19.00	950.00	1.90													
23.00	1150.00	2.31	25.00	1250.00	1.53																									
Bus ID: Bus 'D'																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	2.20	7.00	350.00	3.60	11.00	550.00	3.63	13.00	650.00	1.77	17.00	850.00	2.72	19.00	950.00	1.90													
23.00	1150.00	2.31	25.00	1250.00	1.53																									
Bus ID: Bus 'E'																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	2.20	7.00	350.00	3.60	11.00	550.00	3.63	13.00	650.00	1.77	17.00	850.00	2.72	19.00	950.00	1.90													
23.00	1150.00	2.31	25.00	1250.00	1.53																									
Bus ID: Bus 'F'																														
Fund. kV: 0.217																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	2.04	7.00	350.00	3.12	11.00	550.00	2.62	13.00	650.00	1.15	17.00	850.00	1.43	19.00	950.00	0.89													
23.00	1150.00	0.88	25.00	1250.00	0.52																									
Bus ID: Bus G																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	2.20	7.00	350.00	3.60	11.00	550.00	3.63	13.00	650.00	1.77	17.00	850.00	2.72	19.00	950.00	1.90													
23.00	1150.00	2.31	25.00	1250.00	1.53																									
Bus ID: Bus H																														
Fund. kV: 0.415																														
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %													
5.00	250.00	2.20	7.00	350.00	3.60	11.00	550.00	3.63	13.00	650.00	1.77	17.00	850.00	2.72	19.00	950.00	1.90													
23.00	1150.00	2.31	25.00	1250.00	1.53																									

• Nilai VTHD Skenario 6 Variasi E (70%-40%) Setelah Pemasangan Filter

Bus		Voltage Distortion								
ID	kV	Fund. %	RMS %	ASUM %	THD %	TIF	THD %	TSHD %	THDG %	THDS %
Bus 'A'	0.415	100.00	100.16	115.42	5.70	173.42	0.00	0.00	5.70	5.70
Bus 'B'	0.415	100.00	100.16	115.42	5.70	173.42	0.00	0.00	5.70	5.70
Bus 'D'	0.415	100.00	100.16	115.42	5.70	173.42	0.00	0.00	5.70	5.70
Bus 'E'	0.415	100.00	100.16	115.42	5.70	173.42	0.00	0.00	5.70	5.70
Bus 'F'	0.220	98.48	98.55	108.26	4.00	80.19	0.00	0.00	4.00	4.00
Bus G	0.415	100.00	100.16	115.42	5.70	173.42	0.00	0.00	5.70	5.70
Bus H	0.415	100.00	100.16	115.42	5.70	173.42	0.00	0.00	5.70	5.70

• Nilai VIHD Skenario 6 Variasi D (100%-100%) Setelah Pemasangan Filter

[illegible]

• Nilai VIHD Skenario 6 Variasi E (70%-40%) Setelah Pemasangan Filter

Bus ID: Bus 'A'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.72	7.00	350.00	2.83	11.00	550.00	2.85	13.00	650.00	1.39	17.00	850.00	2.13	19.00	950.00	1.49
23.00	1150.00	1.81	25.00	1250.00	1.20												
Bus ID: Bus 'B'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.72	7.00	350.00	2.83	11.00	550.00	2.85	13.00	650.00	1.39	17.00	850.00	2.13	19.00	950.00	1.49
23.00	1150.00	1.81	25.00	1250.00	1.20												
Bus ID: Bus 'D'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.72	7.00	350.00	2.83	11.00	550.00	2.85	13.00	650.00	1.39	17.00	850.00	2.13	19.00	950.00	1.49
23.00	1150.00	1.81	25.00	1250.00	1.20												
Bus ID: Bus 'E'																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.72	7.00	350.00	2.83	11.00	550.00	2.85	13.00	650.00	1.39	17.00	850.00	2.13	19.00	950.00	1.49
23.00	1150.00	1.81	25.00	1250.00	1.20												
Bus ID: Bus 'F'																	
Fund. kV: 0.217																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.60	7.00	350.00	2.45	11.00	550.00	2.06	13.00	650.00	0.91	17.00	850.00	1.12	19.00	950.00	0.70
23.00	1150.00	0.69	25.00	1250.00	0.41												
Bus ID: Bus G																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.72	7.00	350.00	2.83	11.00	550.00	2.85	13.00	650.00	1.39	17.00	850.00	2.13	19.00	950.00	1.49
23.00	1150.00	1.81	25.00	1250.00	1.20												
Bus ID: Bus H																	
Fund. kV: 0.415																	
Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %	Order	Freq. Hz	Mag. %
5.00	250.00	1.72	7.00	350.00	2.83	11.00	550.00	2.85	13.00	650.00	1.39	17.00	850.00	2.13	19.00	950.00	1.49
23.00	1150.00	1.81	25.00	1250.00	1.20												

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Depok, Jawa Barat pada tanggal 30 April 1996 dengan nama Yose Gregory Tarigan dan merupakan anak kedua dari 3 bersaudara pasangan Karmen Tarigan dan Theresia Sitepu. Penulis menempuh jenjang pendidikan mulai dari SD Santa Theresia, Depok (2002 – 2008), SMP Desa Putera, Jakarta Selatan (2009 – 2011) dan SMA Negeri 1 Depok, Jawa Barat (2012 – 2014). Setelah lulus dari bangku Sekolah Menengah Atas (SMA), penulis diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur Undangan pada tahun 2014. Selama menempuh masa studi, penulis aktif di berbagai kegiatan perlombaan dan organisasi. Diantaranya menjadi staff media dan informasi Himasiskal FTK ITS pada periode 2016, panitia dari Marine Icon pada tahun 2015, 2016 dan 2017, menjadi panitia *Topic Development* dalam acara *Young Engineers & Scientist Summit* pada tahun 2014 serta sebagai anggota aktif dari Marine Electrical and Automation System Laboratory DTSP ITS dimana penulis aktif menjadi Grader. Selama masa perkuliahan, penulis pernah mengikuti 3 kali perlombaan prototipe hovercraft di Jakarta. Selain itu penulis juga pada masa perkuliahan penulis mengambil sertifikasi CSWIP 3.0 dan melakukan kerja praktik di dua tempat yaitu PT.DRU Lamongan dan PT.Orela Shipyard.